



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE INUDABILIDAD DE LA FINCA DE SANTA LEOCADÍA EN CILLORIGO DE LIÉBANA

Trabajo realizado por:
Ana González Fadrique

Dirigido:
Javier Sánchez Espeso
Agustín Ascorbe Salcedo

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, junio de 2019

TRABAJO FIN DE GRADO



Contenido

RESUMEN	4
SUMMARY	6
1. ANTECEDENTES	8
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	10
2.1 Hidrología	11
2.2 Geología y litología	12
2.3 Climatología.....	13
2.4 Edafología.....	14
2.5 Geomorfología	15
2.6 Vegetación y usos de suelo	17
2.7 Descripción del tramo de estudio	17
3. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.....	22
4. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE	22
5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRAÚLICO	23
5.1 Determinación del perfil de la lámina de agua	25
5.2 Análisis del efecto de los puentes	27
5.3 Vía de intenso desagüe	28
6. DATOS BÁSICOS.....	32
6.1 Caracterización geométrica.....	32
6.2 Caracterización hidráulica	34
6.3 Caudales y condiciones de contorno.....	35
7. SITUACIONES CONSIDERADAS	40
8. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	40
9. CONCLUSIONES	50
10. BIBLIOGRAFÍA.....	51
PLANOS.....	52
I. Anejo fotográfico.....	53
.....	56
.....	56
II. Anejo de Caracterización topográfica de la zona.....	59



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



III.	Anejo de la delimitación de la cuenca.....	66
IV.	Anejo de resultados tabulares del cálculo hidráulico	69
V.	Anejo de perfiles longitudinales.....	77
VI.	Anejo de Secciones transversales	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa político de la cuenca del río Deva	10
Figura 2.	Resumen de la información hidrológica estimada para diferentes puntos de cálculo de la cuenca del río Deva	11
Figura 3.	Mapa del relieve de la cuenca del río Deva y características litológicas de la misma .	13
Figura 4.	Variables climatológicas del río Deva: isotermas e isoyetas	14
Figura 5.	Distribución de los principales tipos de suelos en la cuenca del río Deva. Fuente: Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria	15
Figura 6.	Subcuencas definidas en la cuenca del río Deva (GESHA 2005).....	16
Figura 7.	Altitud y pendiente media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Deva.....	16
Figura 8.	Usos de suelo en la cuenca del río Deva	17
Figura 9.	Localización de la finca de Santa Leocadía en google maps	18
Figura 10.	Finca de Santa Leocadía	19
Figura 11.	Vista del puente desde la sección de aguas arriba	20
Figura 12.	Vista del puente visto desde la sección de aguas abajo	20
Figura 13.	Vista del Azud	21
Figura 14.	Línea de energía entre dos secciones consecutivas.....	26
Figura 15.	Perfil del canal y localización de las secciones transversales.....	27
Figura 16.	Efecto de contracción y de un puente	27
Figura 17.	Definición de vía de intenso desagüe.....	30
Figura 18.	Cálculo del método 4.....	31
Figura 19.	MDE creado para hallar el área de la cuenca	37
Figura 20.	Área de la cuenca que aporta al punto de aguas abajo del río Deva.....	37
Figura 21.	Gráfico para el cálculo de caudales específicos de avenida.....	39
Figura 22.	Zona inundada para T=500 años	42
Figura 23.	Inundación de la finca de Santa Leocadía para el caudal correspondiente a T=500 .	43
Figura 24.	Zona de aguas arriba	54
Figura 25.	Sección aguas arriba del puente	54
Figura 26.	Arco secundario del puente	55
Figura 27.	Sección aguas abajo del puente	56
Figura 28.	Vista del cauce entre el puente y el azud.....	56
Figura 29.	Vista del azud	57
Figura 30.	Vista característica de la zona por el tipo de suelo	58
Figura 31.	Finca de Santa Leocadía	58



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 1. Perfiles de cálculo y elementos singulares	33
Tabla 2. Uso de suelo y coeficiente de Manning.....	35
Tabla 3. Valor de los caudales de avenida	38
Tabla 4. Perfiles de cálculo y elementos singulares	41
Tabla 5. Sobreelevaciones de la Vía de intenso desagüe.....	45
Tabla 6. Zonas de graves daños: margen izquierda	47
Tabla 7. Zona de graves daños: margen derecha.....	48
Tabla 8. Determinación de la zona de flujo preferente	49

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1: Situación
- Plano 2.1: General
- Plano 2.2: Vista general: Eje de río y perfiles
- Plano 3 : Detalle
- Plano 2.4: Manning y Usos de suelo
- Plano 3.1: Zona inundada T500
- Plano 3.2: Zona inundada T100
- Plano 3.3: Zona inundada T10
- Plano 4.1: Altura de Calado T500
- Plano 4.2: Altura de Calado T100
- Plano 4.3: Altura de Calado T10
- Plano 5.1: Zona inundada Vía de intenso desagüe
- Plano 5.2: Altura de calado Vía de intenso desagüe



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



RESUMEN

Título: Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía

Autor: Ana González Fadrique

Directores: Javier Sánchez Espeso/Agustín Ascorbe Salcedo

Convocatoria: Junio 2019

Palabras clave: Vuelo fotogramétrico –Nube de puntos – Superficie de inundación – Cuenca- Caudal de avenida- Tiempo de retorno –Vía de intenso desagüe – Zona de flujo preferente

El presente trabajo de final de grado de la mención de hidrología, en la convocatoria de junio de 2019, consiste en un estudio de inundabilidad del río Deva a su paso por la finca de Santa Leocadía en el municipio de Cillorigo de Liébana.

El tramo de río objeto del estudio tiene una longitud aproximada de 2.725 m y se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Deva fluyendo con orientación Norte.

Sus márgenes son en su mayor parte prados y zonas de abundante vegetación, mientras que el lecho del cauce está caracterizado por su composición de rocas y cantos rodados.

Tienen especial relevancia para el estudio el puente que se encuentra en el tramo y que supone una obstrucción al flujo. También, existe un azud que no supondrá ningún tipo de obstrucción.

Para definir la topografía del cauce se cuenta con 31 perfiles transversales repartidos a lo largo del tramo de estudio.

El objetivo final de este estudio es la obtención de las cotas que va a alcanzar el agua en cada uno de los perfiles, y en especial comprobar hasta donde llega la mancha de inundación en la finca de Santa Leocadía para diferentes tiempos de retorno. Además, los resultados finales permitirían llevar a cabo la elaboración del plan urbanístico de la zona próxima a Tama y Cillorigo de Liébana y elaborar otras posibles actuaciones en las zonas cercanas al cauce.

Para llevar a cabo la caracterización topográfica se ha necesitado la elaboración de un vuelo fotogramétrico. A partir de la nube de puntos, se ha creado un modelo del terreno, del que se han derivado las secciones necesarias y que han proporcionado los datos necesarios para el programa la modelización y estudio del tramo, usando la herramienta Hec-Ras.

Se han obtenido las zonas inundables para distintos periodos de retorno así como la vía de intenso desagüe, la zona de graves daños y la zona de flujo preferente, siendo la última la envolvente externa de las dos primeras.



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



Para la aplicación del programa se han precisado de los siguientes datos:

- Caracterización geométrica: basada en los 31 perfiles, entre los que se incluyen un puente, un azud como infraestructuras y una serie de obstrucciones y zonas de flujo inefectivo.
- Caracterización hidráulica: se necesita establecer además unos coeficientes de rugosidad de Manning apropiados para cada sección, así como los coeficientes de pérdida de carga localizada correspondientes.
- Caudales y condiciones de contorno: para realizar el análisis se necesita el valor de los caudales para los distintos periodos de retorno considerados de 500, 100 y 10 años. Para la obtención de estos caudales se ha aplicado un ábaco propuesto por la Confederación Hidrográfica del Norte del que se obtiene el caudal en función del área de la cuenca. Como condición de contorno, se ha supuesto un régimen lento, y se ha establecido la pendiente longitudinal entre los perfiles 1 y 2 admitiendo la hipótesis de régimen uniforme.

Tras la simulación del estudio con HEC-RAS, se han creado tablas con los valores de la lámina de agua buscados y los perfiles transversales con la representación gráfica de los resultados. Se ha dibujado sobre la topografía, para cada tiempo de retorno la mancha de inundación correspondiente y los calados de inundación. Se ha analizado con detalle los resultados obtenidos para la situación de T=500 años, puesto que es la situación más extrema entre las ejecutadas, y donde mayores daños sobre infraestructuras cercanas se podía producir.

Se ha observado que para este periodo de retorno, se producen daños en algunas casas, aunque debido a que la mayor parte del tramo esta poco urbanizada, las inundaciones se producen principalmente sobre prados. Sin embargo, en la finca de Santa Leocadía, objeto principal de estudio, sí que existen daños localizados. Como uno de los objetivos era convertirlo en una infraestructura de turismo rural, se concluye que podrá llevar a cabo por falta de seguridad.

En lo que se refiere a la situación de vía de intenso desagüe, para determinar la zona de flujo preferente se ha tenido que calcular por un lado la zona de graves daños en base a las condiciones que se han expuesto anteriormente, y por otro lado la vía de intenso desagüe. La zona de flujo preferente es la envolvente exterior de estas dos zonas calculadas, lo que completaría la definición de Dominio Público Hidráulico.



SUMMARY

Title: The study of the Deva's river flooding in the property of Santa Leocadía in Cillorigo de Liébana

Author: Ana González Fadrique

Directors: Javier Sanchez Espeso/Agustín Ascorbe Salcedo

Session: June 2019

Key words: Photogrammetric flight - Point cloud - Flood surface - Basin - Flood flow - Return period - Intense drain route - Preferential flow area

The present work is presented as the final project at the end the civil engineering degree of the hydrology mention, in June of 2019. It consists of a flood study of the Deva's river as it passes through the property of Santa Leocadía in Cillorigo de Liébana.

The section of the river taken for the study has an approximate length of 2,725 m. And it is located within the Deva river basin flowing with North orientation.

The margins are characterized by abundant vegetation and meadows all along the setion studied.

The bridge that is in the section which supposes an obstruction for the flow has a special relevance for the study. There is also a small dam that will not cause any type of obstruction.

To define the topography there are used 31 transversal profiles along the study section.

The final objective of this study is to obtain the levels that will reach the water in each of the profiles, and especially to the see how it floods the Santa Leocadía property, for different return periods. In addition, the final results would allow carrying out the development of the urban plan of the area near Tama and Cillorigo de Liébana and other possible elements in the areas near the river bed.

To carry out the geographical characterization, it has been necessary to develop a photogrammetric flight. From the point cloud, a terrain model has been created, which has been joined to the sections to create the necessary data for the Hec-Ras program. This information is used to the model the river.



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Flood zones have been obtained from the return periods, as well as the route of intense drainage, the area of toms damaged and the area of preferential flow, being the last one, the outer envelope of the first two.

For the application of the program, it is included:

- Geometric characterization: based on the 31 profiles, including a bridge, a serie of obstacles and areas of ineffective flow.
- Hydraulic characterization: the roughness coefficients for the appropriate personnel for each section must also be taken into account, as well as the corresponding localized loss of energy coefficients.
- Flow rates and boundary conditions: to perform the analysis, the value of the funds is needed for the return periods of 500, 100 and 10 years. In order to obtain this data, a graph has been applied. It obtains the flow according to the area of the basin. As a condition of contour, a slow regime has been assumed, and the longitudinal slope has been taken between profiles 1 and 2, accepting the uniform regime hypotheses.

After the simulation of the study with HEC-RAS, tables have been created with the values of the sheet of water sought and the transversal profiles with the graphic representation of the results. It has been drawn above the topography, for each flood spot and the flood drafts. The results for the situation of $T = 500$ years have been analyzed in detail.

It has been observed that for this return period, some houses have been damaged, although due to the fact that the upper part of the section is not very urbanized, which makes the floods to occur mainly on meadows. However, in the Santa Leocadía farm, the main object of study, there are localized damages. So it could be difficult to allow the area to become as turistical used. It could be dangerous in case the river floods.

Regarding to the location of an intense drainage channel, in order to determine the preferred flow area, it was necessary to calculate the area of serious damage on the one hand and on the other hand, the through of an intense drain. The preferred flow area is the outer envelope of these two calculated zones, which would complete the definition of Hydraulic Public Domain.



1. ANTECEDENTES

El presente estudio corresponde al Trabajo de Fin de grado de Ana González Fadrique, como finalización del grado en Ingeniería Civil en la mención de Hidrología. El trabajo ha sido dirigido en la parte topográfica por Javier Sánchez Espeso y en la parte hidráulica por Agustín Ascorbe Salcedo.

Se trata de analizar el comportamiento hidráulico del río Deva, en su paso por la finca de Santa Leocadía, una parcela situada en el municipio de Cillorigo de Liébana, teniendo en cuenta las posibles situaciones que se pueden dar ante una serie de avenidas consideradas.

Para ello, se han establecido dos objetivos fundamentales:

- Analizar la inundabilidad de la zona en la actualidad, ante las avenidas del río Deva.
- Determinar la zona de flujo preferente, en base a lo indicado en el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico.

De acuerdo con el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, *"la zona de flujo preferente es la constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de período de retorno, se pueden producir graves daños para las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas."*

A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- *Que el calado sea superior a 1 m.*
- *Que la velocidad sea superior a 1 m/s.*
- *Que el producto de ambas variables sea superior a 0,50 m² /s.*

Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor de 0,30 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente".



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



Para la realización de los trabajos que se muestran a continuación se ha precisado disponer de la información topográfica del tramo de estudio. En un primer lugar se pretendía utilizar la información geográfica y topográfica disponible en el Centro Nacional de Información Geográfica, complementada con otros estudios existentes. A partir de la nube de puntos disponible, no se obtenía información suficiente sobre la zona de estudio y por lo tanto se decidió llevar a cabo un vuelo fotogramétrico mediante un dron. Además, cierta información como la zona del puente que encontramos cerca de la finca objeto de estudio, fue tomada en campo.

Se han analizado 31 perfiles transversales, en los que se representa el cauce del río y las llanuras de inundación. Se muestran detallados más adelante. También se incluyen otras secciones en la zona del puente, para ver cómo afecta la estructura.



2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La zona de objeto de este estudio corresponde a un tramo del río Deva. La cuenca hidrográfica del río Deva (Zona de Cantabria), abarca una superficie total de 1194 km².

De esta importante superficie, 637 km² (esto es, el 53,4%) se sitúan dentro del territorio de la Comunidad Autónoma de Cantabria, hallándose el resto de la cuenca repartido entre las comunidades limítrofes del Principado de Asturias y Castilla y León. Sus límites oriental y occidental están definidos por las divisorias con las cuencas vertientes de los ríos Nansa y Sella (en Asturias), respectivamente. Por el Sur, la cuenca del río Deva está delimitada por los Altos de Riofrío y la Sierra de Peña Labra. Al Norte, limita con las aguas del Mar Cantábrico y la Sierra de Cuera que actúa como divisoria con una serie de pequeñas cuencas costeras asturianas que vierten al mismo, en la zona que se extiende entre Colombres y Llanes.



Figura 1. Mapa político de la cuenca del río Deva

La geomorfología de la cuenca se halla claramente condicionada por la presencia del macizo montañoso de los Picos de Europa, en el que se encuentran las mayores altitudes del conjunto de la cuenca norte de España. En este sentido, una parte de dicho macizo actúa, así mismo, como divisoria natural de la cuenca del río Deva (644 km² hasta la confluencia de ambos), y de



su principal afluente, el río Cares (495 km²). Mientras el río Deva presenta la mayor parte de su recorrido por la geografía de Cantabria, el Cares, cuyo nacimiento se produce en Castilla y León, discurre en la mayor parte de su longitud por el Principado de Asturias, donde tiene lugar su incorporación al río Deva.

2.1 Hidrología

El río Deva, curso principal que da nombre a la cuenca, nace en el circo de Fuente Dé, al pie del macizo central de los Picos de Europa. Su longitud total es de unos 64 km, desembocando en el mar a través de la Ría de Tina Mayor. Los tributarios más importantes de la cuenca son los ríos Quiviesa (18 km), Bullón (22 km), y Urdón (10 km), en la provincia de Cantabria, y el río Cares (50 km), el cual transcurre exclusivamente por la Comunidad Autónoma de Asturias.

En la Figura 2, se presenta un resumen de las principales características hidrológicas de la cuenca del Deva, con indicación de las 5 subcuencas en que se divide la parte de la cuenca emplazada en Cantabria (Deva_01, Deva_02, Deva_03, Deva_04 y Deva_05) así como las aportaciones en 5 puntos presentes en los cauces del eje principal, del río Quiviesa y del río Bullón. Esta información se ha extraído del documento “Estudio de los recursos hídricos de los ríos de la vertiente norte de Cantabria”(GESHA, 2005a)

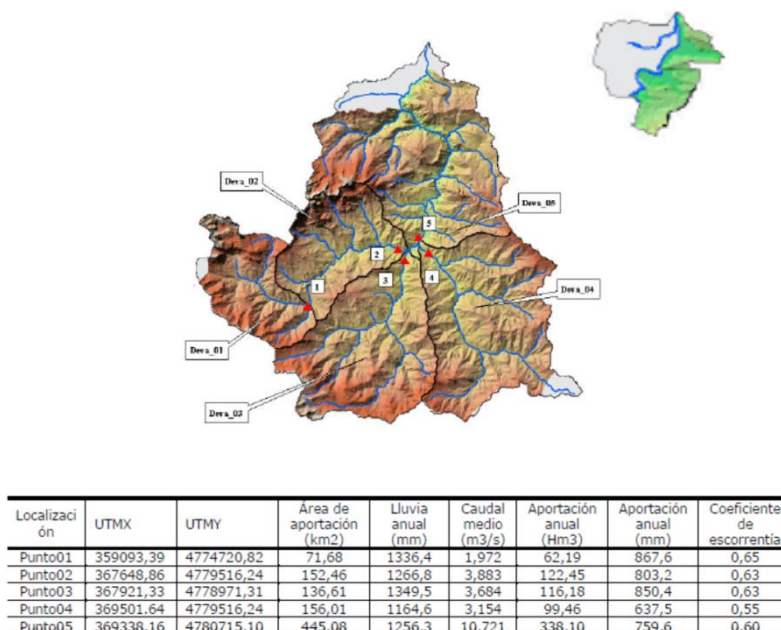


Figura 2. Resumen de la información hidrológica estimada para diferentes puntos de cálculo de la cuenca del río Deva



2.2 Geología y litología

Los distintos cauces que forman la cuenca del río Deva tienen pendientes muy pronunciadas debido a los fuertes desniveles que aparecen en las ramificaciones de las formaciones montañosas de los Picos de Europa y la Cordillera Cantábrica, situadas respectivamente en la parte este y sur de la cuenca. Los ríos Deva, Quiviesa y Bullón forman valles estrechos y muy encajonados desde sus respectivos nacimientos hasta su unión aguas abajo de la localidad de Potes, a partir de donde la llanura de inundación se hace más amplia. Pasado este tramo, el eje principal entra en el desfiladero de La Hermida, donde el cauce se encuentra muy encajonado en forma de “U”.

Aguas abajo del desfiladero de La Hermida, en la parte baja de la cuenca, el valle gana en amplitud manteniendo amplias llanuras de inundación hasta el inicio del estuario del Tina Menor.

En la imagen de la Figura 3, basada en la cartografía a escala 1:25.000 de todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Cantabria, se representa la topografía de la cuenca.

En esta representación se puede observar la existencia de las formaciones montañosas mencionadas así como la progresiva disminución de altitud según descendemos en aguas abajo. También se puede observar la distribución de los múltiples ejes tributarios de la cuenca, los cuales se distribuyen de manera similar al este y al oeste del eje principal.

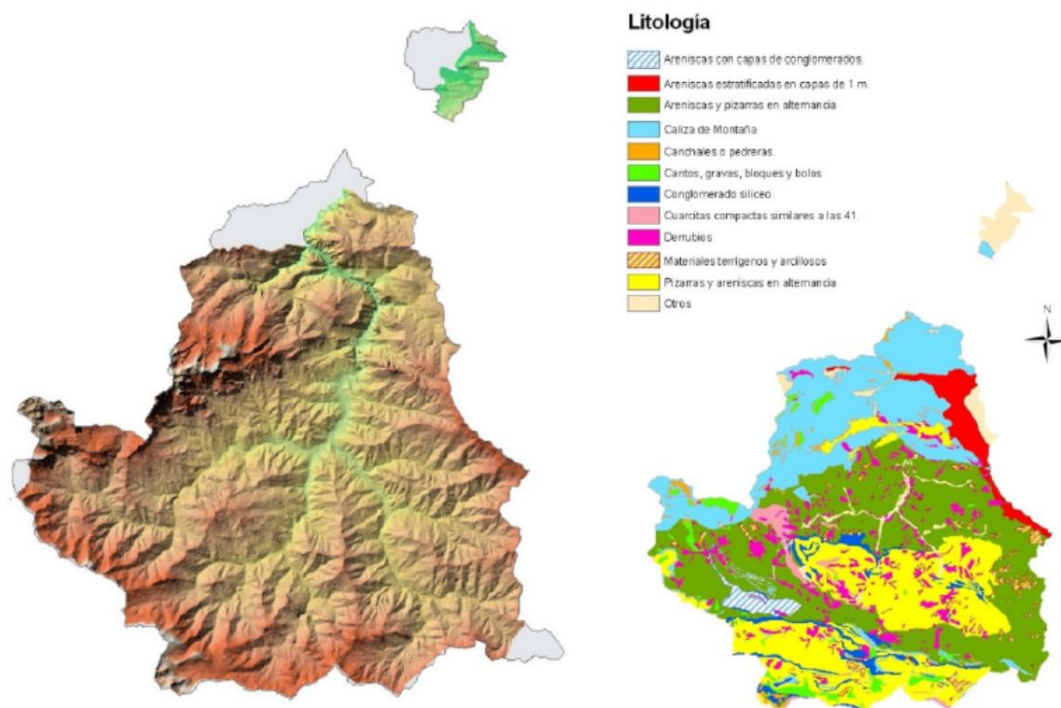


Figura 3. Mapa del relieve de la cuenca del río Deva y características litológicas de la misma

En la cuenca del río Deva se encuentran dos formaciones litológicas predominantes, la Caliza de Montaña y la alternancia de Pizarras/Areniscas. La caliza de Montaña ocupa casi el 20% del área descrita en la Figura 3 predonimando en la parte norte de la cuenca. Por otra parte la formación de Pizarras y Areniscas en alternancia está presente en casi el 50% del área, predominando en la zona sur de la cuenca. El 30% restante de la cuenca está compuesto por una gran cantidad de formaciones litológicas diferentes, que no superan nunca porcentajes del 10%, excepto las Areniscas estratificadas en capas de 1 m que componen un 14%.

2.3 Climatología

El río se localiza en la zona más occidental de Cantabria, lo que le sitúa dentro de la fachada costera occidental Europea. En esta zona predomina el clima oceánico atlántico, aunque diversas zonas en el interior del valle de Liébana presentan ciertas características climatológicas Mediterráneas. Por lo tanto el régimen de temperaturas se caracteriza por ser predominantemente suave, templado y con escasa oscilación térmica estacional.



En la Figura 4 se observa un incremento progresivo en el valor de las isotermas desde las zonas más alejadas del cauce hasta el propio cauce. Por lo tanto, la distribución de las isotermas indica un incremento de la temperatura media anual desde las zonas montañosas, entre las que discurre el cauce principal, hasta las zonas más bajas del valle.

En cuanto a la precipitación, sin embargo, la distribución de las isoyetas en la Figura 4, no parece guardar relación con la altitud del terreno. El máximo valor que marcan las isoyetas se encuentra en la zona media de la cuenca, indicando una precipitación media anual de 2.500 mm. Desde esa zona, las isoyetas marcan una reducción progresiva de las precipitaciones tanto en dirección norte como sur, tomando los valores más bajos de precipitaciones medias anuales, en la cabecera de la cuenca y en la zona más cercana al estuario, donde alcanzan valores de 1.200 mm.

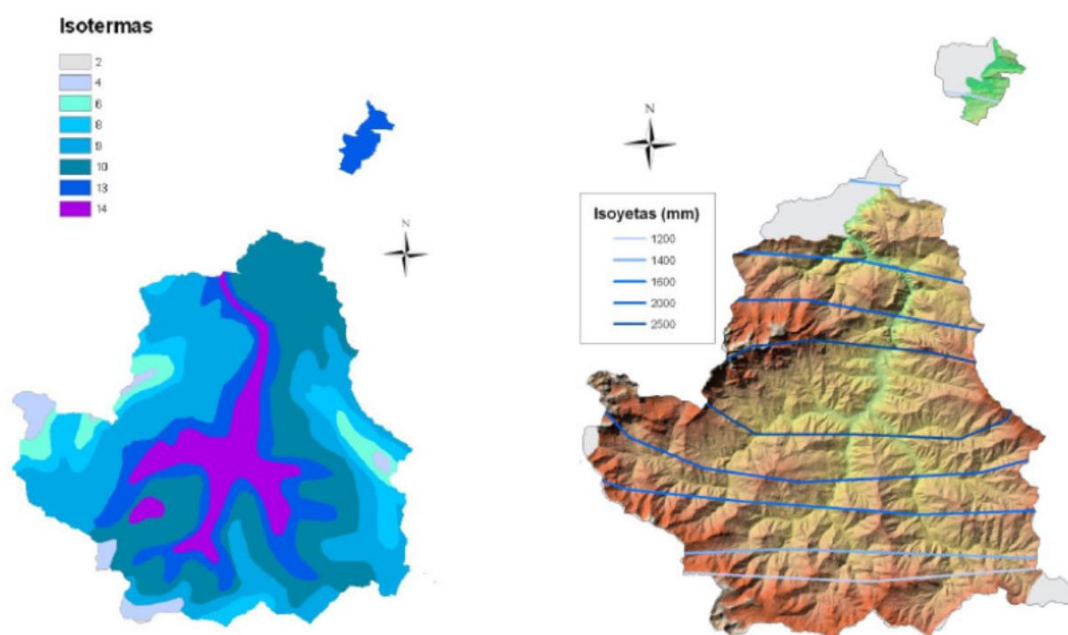


Figura 4. Variables climatológicas del río Deva: isotermas e isoyetas

2.4 Edafología

Respecto a la composición edáfica, atendiendo a la clasificación de la FAO (FAO/UNESCO, 1998) para las tipologías de suelos, la tipología dominante en el área representada en la Figura 5 se corresponde con el tipo Ranker, el cual ocupa un 35% del terreno. Al suelo Ranker le sigue en importancia el Cambisol (tierras pardas), con un 32% de superficie ocupada y el Litosol (25%).



La distribución de estos tres tipos de suelo aparece muy ordenada en el espacio, sustituyéndose respectivamente en dirección norte.

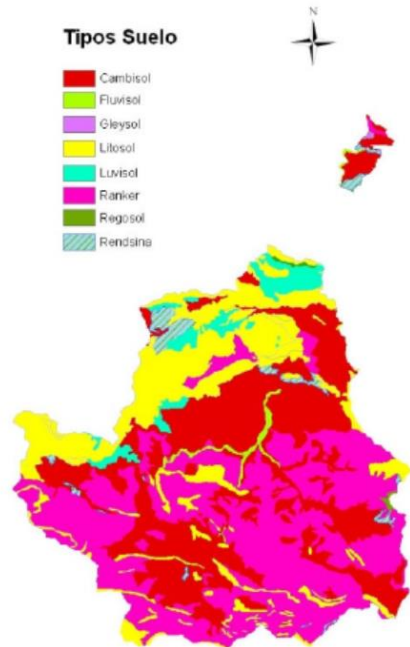


Figura 5. Distribución de los principales tipos de suelos en la cuenca del río Deva. Fuente: Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria

2.5 Geomorfología

La parte de la cuenca hidrográfica del río Deva que discurre por la Comunidad Autónoma de Cantabria se puede dividir en 5 subcuencas, basándonos en las características geomorfológicas, climáticas, morfométricas e hidrológicas de las mismas (GESHA, 2005a).

De forma general, a lo largo de la cuenca del río Deva se observa un gradiente ascendente de altitud desde la zona litoral hacia el interior de la región, presentando altitudes máximas en la subcuenca Deva_01, donde también aparecen las pendientes más pronunciadas (Figura 8). Por el contrario las zonas de menor altitud y pendiente no son coincidentes. Mientras que la subcuenca de menor altitud es la que aparece más cercana al estuario (Deva_05) la subcuenca con menor pendiente media es la que forma el río Bullón (Deva_04).

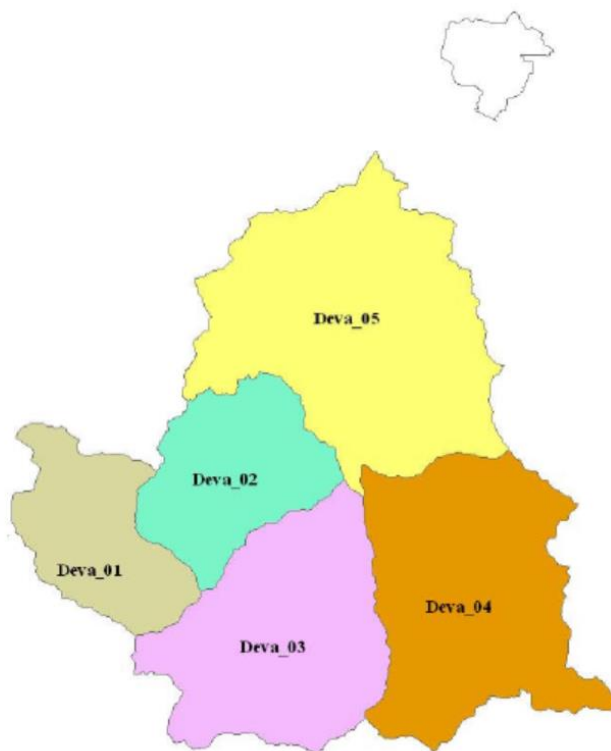


Figura 6. Subcuencas definidas en la cuenca del río Deva (GESHA 2005)

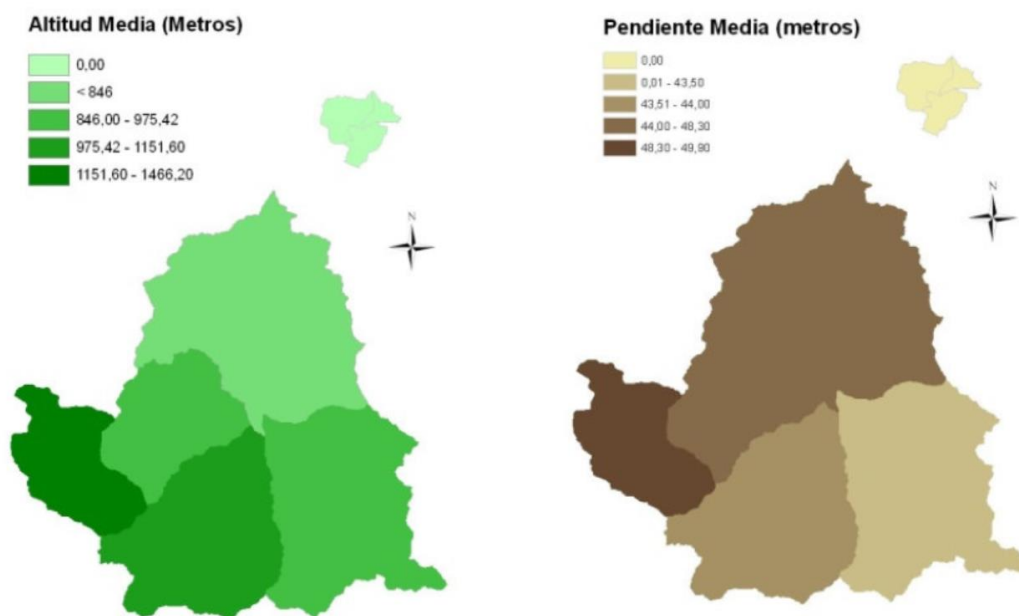


Figura 7. Altitud y pendiente media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Deva



2.6 Vegetación y usos de suelo

En la Figura 8 se recoge la distribución espacial de los usos del suelo en la cuenca del Deva. Se observa como las zonas de cultivos se sitúan siguiendo los ejes fluviales de la cuenca, aprovechando las zonas más fértiles de la llanura de inundación fluvial. Rodeando a las zonas de cultivo aparecen zonas forestales arboladas y por otro lado, en las zonas más escarpadas dominan superficies forestales desarboladas.

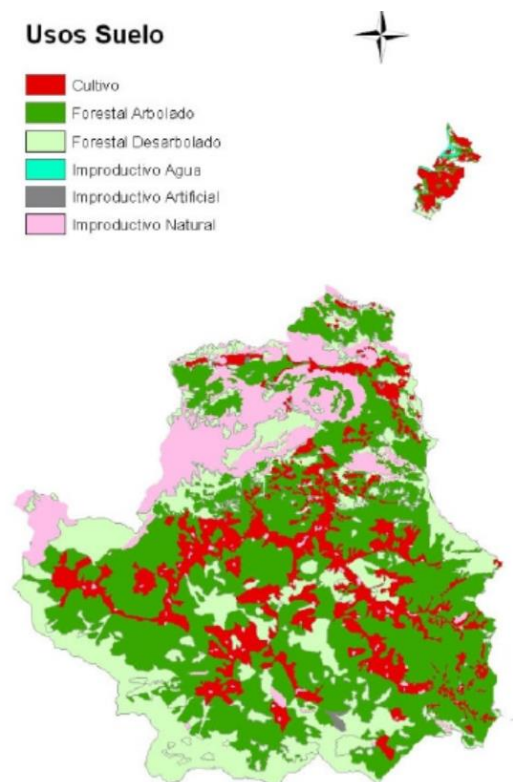


Figura 8. Usos de suelo en la cuenca del río Deva

2.7 Descripción del tramo de estudio

Como el objetivo principal del estudio es comprobar la inundabilidad de la finca de Santa Leocadía, se ha tomado un tramo del río Deva de tramo de 2,725 km de longitud aproximadamente. La finca abarca los perfiles existentes entre los 983,1167m hasta los 1462.209m midiendo desde aguas abajo en ambos casos (perfiles del 10 al 15), pero se han



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

tomado más secciones tanto aguas arriba como aguas abajo para ver el comportamiento y el efecto que producen las estructuras presentes (puente y azud) en el lecho del río aguas arriba, así como asegurar que el estudio se comience en una sección con régimen uniforme. La siguiente fotografía muestra la finca de Santa Leocadía.

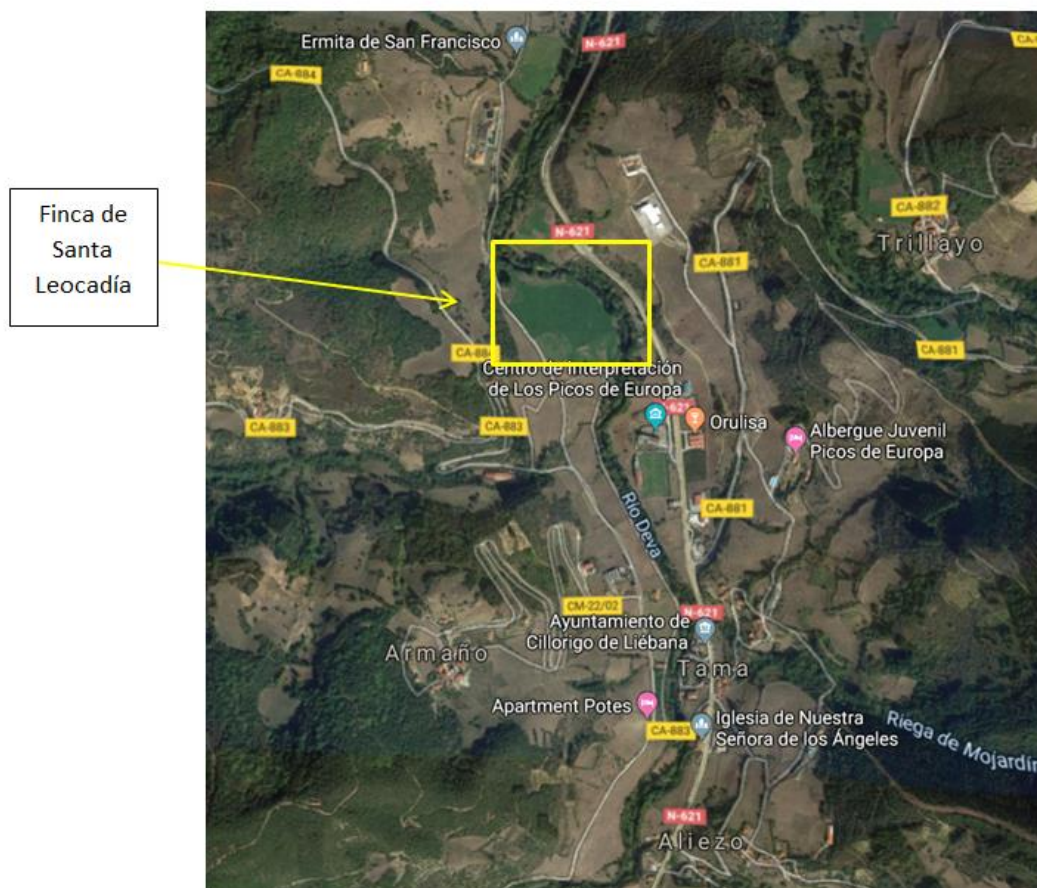


Figura 9. Localización de la finca de Santa Leocadía en google maps



Figura 10. Finca de Santa Leocadía

Es una zona caracterizada por praderas, cultivos herbáceos, matorrales, huertas y prados. Los extremos del cauce se encuentran poblados de maleza y arbolado forestal que puede observar tanto en el mapa 2.2 del anejo de mapas y en las fotografías adjuntas en el anejo fotográfico. Toda la maleza ha supuesto una complicación en el estudio, para la creación de los modelos del terreno y la determinación de los bordes del cauce.

Además, en el tramo de estudio encontramos dos carreteras cercanas al lecho, la N-621, carretera que posteriormente se adentra en el desfiladero de la Hermida y la CA-883. Tan solo la carretera autonómica se va a ver muy localmente afectada por la avenida correspondiente al período de retorno de 500 años.

Existe algún cauce menor, cuya aportación de agua se ha considerado no relevante. No tienen un tamaño ni un caudal que suponga algún incremento relevante en los caudales de avenida.

Se han estudiado 31 perfiles transversales a lo largo del río. El tramo cuenta con las siguiente estructuras hidráulicas:



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

- Un puente situado entre los perfiles 2335.345 y 2342.945. fue construido en el año 1792. Tiene una altura importante, y está destinado al paso de vehículos, con un tráfico actual mínimo. Tiene un arco central de una altura aproximada de 10,7m y anchura de 25.40m. La anchura del puente en planta es de 5,6 m. La toma de los datos del puente no fue sencilla, por la existencia de una importante vegetación de ribera. Esto se puede observar en las dos figuras siguientes. Además, dos casas tienen pegadas sus fachadas al puente, tanto a aguas arriba como aguas abajo del puente en la margen izquierda, como se puede observar en las siguientes fotografías.



Figura 11. Vista del puente desde la sección de aguas arriba



Figura 12. Vista del puente visto desde la sección de aguas abajo



- Un azud de un metro de altura entre las secciones 19 y 20 (1775,569 y 1784,486), que no tendrá gran relevancia en este estudio. Se puede observar en la fotografía.



Figura 13. Vista del Azud

En cuanto a la composición del lecho del cauce, y como puede verse en las fotos del anejo fotográfico, se trata principalmente de rocas y cantos rodados, que se acumulan en las márgenes del río. Esta mezcla de afloramientos rocosos produce rápidos en algunos tramos del río. Como la composición del lecho del río y de los márgenes del mismo es bastante homogénea para todo el tramo de estudio, no es necesario hacer diferenciaciones de material por tramos.

Además de los puentes y el azud, existen otro tipo de infraestructuras como varias casas, la depuradora que corresponde al núcleo de Potes, algún cobertizo, etc que han tenido que ser considerados como obstrucciones al flujo en el programa Hec-Ras.



3. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

La problemática de este estudio se centra en la obtención de las cotas que va a alcanzar el agua entre los perfiles 1 y 31 ambos inclusive, representados en los planos del anejo de planos. El objetivo final es conocer la inundabilidad de la finca de Santa Leocadía en Cillorigo de Liébana. Se quiere saber la inundabilidad de esta finca para combinar su fines agrícolas , por fines turísticos, mediante la localización de una casa rural.

Las cotas que se calculan serán condicionantes para la elaboración del plan urbanístico de la finca y para otras posibles actuaciones en las proximidades del cauce.

El estudio se hará por medio del programa HEC-RAS, utilizando toda la información obtenida en el vuelo fotogramétrico llevado a cabo sobre la zona, las visitas en campo, los mapas topográficos, y la información disponible en las distintas páginas web del Gobierno de Cantabria y la Confederación Hidrográfica del Norte.

Se van a estudiar los caudales correspondientes a 3 períodos de retorno: $T=10$ años, $T=100$ años y $T=500$ años.

4. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE

Se ha considerado que as bases cartográficas existentes no tenían el suficiente detalle para la realización de este estudio de inundabilidad y se ha optado por la toma de datos a medida para este proyecto. Entre las técnicas disponibles, se ha seleccionado la realización de un vuelo fotogramétrico desde un dron, que ha permitido la obtención de una superficie de terreno continua en base a la cual se han extraído los perfiles hidráulicos necesarios.

En el anejo topográfico se explica con detalle este proceso.



5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRAÚLICO

El programa que se va a utilizar en este estudio para la modelización del río Deva a su paso por la finca de Santa Leocadía en Cillorigo de Liébana va a ser el HEC-RAS, como ya se ha explicado en el apartado 3. Este programa es un software desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers (USACE), en el Centro de Ingeniería Hidrológica al que le corresponden las siglas HEC.

Su modelo matemático está basado, al igual que el de su predecesor, en el empleo de la ecuación de la energía, valorando las pérdidas de carga según la ecuación de Manning. Se ha convertido en un estándar de la ingeniería hidráulica y ha introducido una serie de mejoras debido a su desarrollo bajo el entorno Windows. Algunas de estas mejoras son: mayor facilidad para la entrada de datos, representación de resultados, mejora de los cálculos hidráulicos...

HEC-RAS está diseñado para desarrollar cálculos hidráulicos en una dimensión para una red de canales naturales o artificiales. La versión de HEC-RAS que se va a utilizar en el estudio es la 5.0.7.

Las capacidades que tiene el programa son las siguientes:

- **Cálculo de perfiles de agua en régimen permanente.** Esta parte del programa permite calcular el perfil de la lámina de agua para un régimen permanente gradualmente variado. El programa puede trabajar con un simple río, con varios afluentes de éste o un complejo sistema de canales. La componente del flujo estacionario es capaz de modelar perfiles de la lámina de agua subcríticos, supercríticos o una mezcla de ambos.

El procedimiento computacional se basa en la resolución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas de energía debidas a la fricción, se evalúan mediante la ecuación de Manning y las localizadas en contracción/expansión, mediante un coeficiente multiplicador del cambio en la velocidad. La ecuación de momento se utiliza en situaciones donde el perfil de la lámina de agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen los cálculos de régimen de flujo mixto, la hidráulica de puentes en confluencias de ríos.



El efecto de obstrucciones como puentes, presas, azudes, aliviaderos, alcantarillas u otras estructuras en la llanura de inundación se pueden considerar en los cálculos computacionales. El sistema de flujo estacionario está diseñado para ser aplicado en la gestión de llanuras de inundación y análisis de riesgo de inundación, para evaluar la posible invasión del agua. También tiene capacidad para determinar el cambio del perfil de la lámina de agua debido a mejoras en el canal y diques.

- **Simulaciones en régimen no permanente.** HEC-RAS es capaz de simular un sistema de canales abiertos en los que el agua circula en régimen no permanente. Esta parte del programa fue desarrollada inicialmente para cálculos en régimen subcrítico. Además tiene la capacidad de modelar áreas de almacenamiento y realizar las correspondientes conexiones hidráulicas entre las distintas áreas de almacenamiento.
- **Transporte de sedimentos.** El programa intenta hacer la simulación del transporte de sedimentos y de la evolución del lecho como resultado de la erosión y de la sedimentación a partir del cálculo unidimensional.
- **Análisis de la calidad del agua.** HEC-RAS le da la posibilidad al usuario de efectuar un análisis de la calidad del agua del río. El actual programa puede generar diferentes análisis de temperatura y transporte de algunas componentes del agua del río como pueden ser algas, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno (DBO), fósforo, nitrógeno...

El modelo matemático resuelve de forma iterativa la ecuación de conservación de la energía para calcular a partir de un nivel conocido en una sección, el de la siguiente.

Los cálculos, más o menos precisos de este modelo, están condicionados por la proximidad de las hipótesis que se establecen con la realidad del fenómeno físico. Por ello se debe prestar especial atención a la determinación geométrica del cauce y al establecimiento de los coeficientes de rugosidad de Manning.



Ya que para la realización del estudio consideraremos régimen permanente, a continuación se describen las hipótesis básicas de cálculo en este caso:

- Flujo gradualmente variado: no hay cambios bruscos de las características hidráulicas, de manera que puede suponerse una distribución hidrostática de la presión.
- Flujo unidimensional, aunque se tienen en cuenta los coeficientes de Coriolis (α) y de Boussinesq (β) para evaluar la distribución horizontal de velocidad según cauce principal y llanuras de inundación por ambas márgenes.
- La pendiente del cauce ha de ser menor de un 10%, debido a que la altura de presión se supone equivalente a la cota de agua medida verticalmente.
- HEC-RAS permite realizar cálculos mixtos, es decir, admitiendo régimen lento y rápido en una misma simulación y situando los resaltos hidráulicos que pudieran tener lugar en el tramo en estudio.
- La pendiente de la línea de energía es uniforme entre dos secciones transversales.
- El lecho del cauce es fijo.

5.1 Determinación del perfil de la lámina de agua

La cota de la lámina de agua en una sección concreta se calcula mediante la ecuación del balance de la energía. Para ello hay que suponer que la pendiente es lo suficientemente reducida para poder aceptar que la vertical y la perpendicular en un punto coinciden. En caso de que el régimen sea rápido, la cota del nivel en una determinada sección se obtiene con base en sección de aguas arriba, mientras que si el régimen es lento, se obtiene con base en la sección de aguas abajo. En cualquiera de los dos casos la resolución de la ecuación de la energía sigue un procedimiento iterativo.

La ecuación del flujo unidimensional que se emplea es la siguiente:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_e$$

En donde:

- Z_1 y Z_2 : cotas del canal principal sobre un plano de referencia en las secciones consideradas.



- Y_1 y Y_2 : calados de agua en las secciones transversales consideradas.
- α_1 y α_2 : coeficientes del término de velocidad o de Coriolis.
- g : gravedad.
- V_1 y V_2 : velocidad media del flujo en la sección.
- h_e : término de pérdida de energía entre dos secciones. Incluye las pérdidas por rozamiento y las pérdidas localizadas:

$$h_e = I * L + h_{localizadas}$$

Donde: $I = \frac{n^2 * V^2}{Rh^{4/3}}$ y $h_{localizadas} = \sum_{i=1}^n \lambda_i * \frac{v_i^2}{2g}$

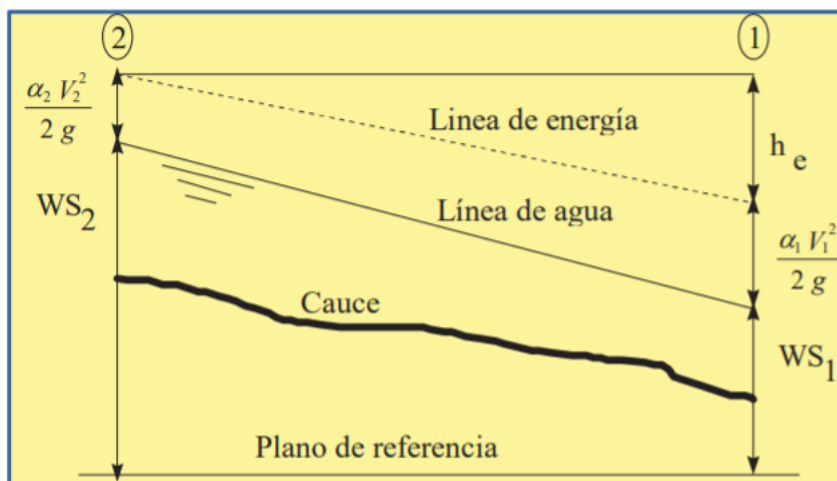


Figura 14. Línea de energía entre dos secciones consecutivas

Una vez conocida la cota de la lámina de agua de una sección, se produce el siguiente proceso para calcular la sección contigua:

- Dependiendo si el régimen es rápido o lento, se supone una cota aguas abajo o aguas arriba respectivamente.
- Se determina el valor de I y del Δh .
- Se obtiene z_2 mediante la ecuación de la energía y se compara con el valor que se había supuesto repitiéndose el proceso hasta conseguir que dichos valores solo difieran entre sí en un error admisible para el cálculo.



5.2 Análisis del efecto de los puentes

Siempre que se tenga un puente en el cauce, éste supondrá una obstrucción más o menos significativa para el flujo. El programa Hec-Ras calcula las pérdidas de energía causadas por estructuras en el cauce del río como pueden ser puentes en tres partes diferenciadas. La primera de ellas consiste en las pérdidas que se producen en el tramo inmediatamente aguas abajo, donde el flujo sufre una expansión. La segunda parte son las pérdidas en la estructura en sí, y la tercera consta de las pérdidas que se producen en el tramo inmediatamente aguas arriba de la estructura, donde el flujo se contrae. Además es necesario tener en cuenta que para una misma forma de puente en el mismo río, la obstrucción será mayor cuanto mayor sea el caudal.

A la hora de modelar el comportamiento de modelar el comportamiento de un puente se crean 4 secciones diferentes que podemos observar en las siguientes figuras:

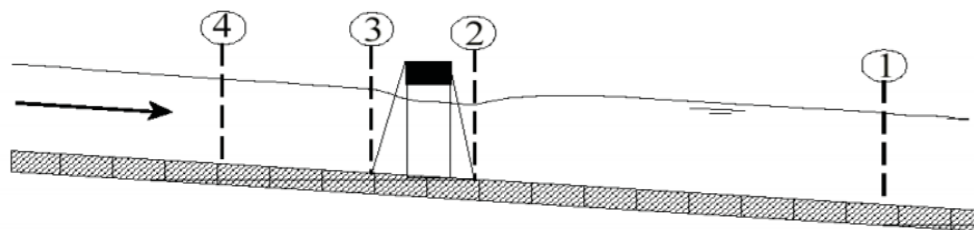


Figura 15. Perfil del canal y localización de las secciones transversales

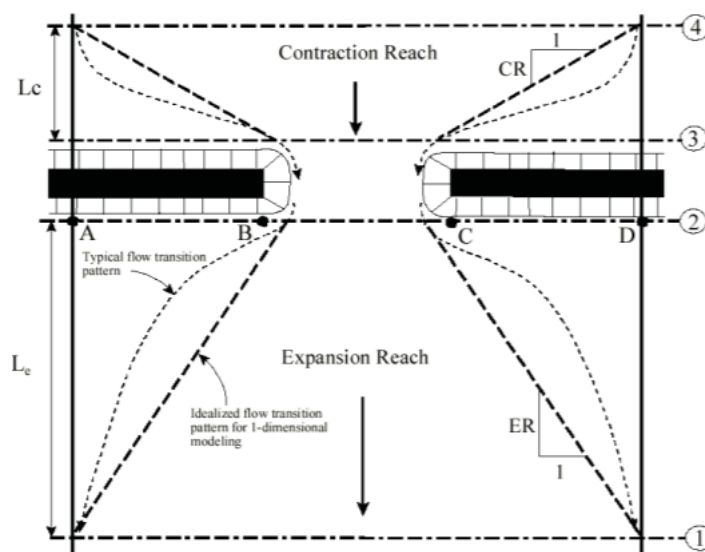


Figura 16. Efecto de contracción y de un puente



- Sección 1: aguas abajo del puente, en un lugar donde no exista influencia del puente.
- Sección 2: aguas abajo del puente, justo después de donde el estrechamiento del agua debido al puente es mayor.
- Sección 3: a una distancia pequeña aguas arriba del puente. Tanto esta sección como la sección 2, contarán con áreas inefectivas.
- Sección 4: aguas arriba del puente, a una distancia suficiente para que el flujo sea más o menos paralelo y el área sea totalmente efectiva.

Además en la modelización a partir de Hec-Ras, se utilizan lo que se llama áreas de flujo inefectivo para aquellas zonas de la sección transversal cubiertas por la lámina de agua, pero en las que la velocidad en la dirección del flujo se considera cero. Esta agua está incluida en los parámetros de almacenamiento y perímetro mojado, pero no en el área de flujo activo. Una vez que el área del flujo inefectivo es superada, se vuelve a considerar como efectiva.

El problema que suponen los puentes en el modelado del terreno es la aparición de áreas de flujo inefectivo. Esta opción de área de flujo inefectivo es considerada en las secciones 2 y 3 del puente. Hec-Ras permite establecer las elevaciones de flujo inefectivo a la derecha y a la izquierda.

Esta opción de área inefectiva a ambos lados del puente es una buena solución cuando todo el agua discurre por debajo del puente. En el caso de que el nivel del agua sea mayor que el control de elevación establecido, será necesario usar toda la sección transversal.

Dependiendo de la forma de los vanos del puente, la circulación se producirá de forma progresiva o de forma brusca. En cualquiera de los casos el vertido sobre el tablero funcionará como si se tratase de un vertedero de pared gruesa.

5.3 Vía de intenso desagüe

Como se ha comentado con anterioridad el Real Decreto 9/2008 define la zona de flujo preferente como:



"la constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de período de retorno, se pueden producir graves daños para las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

Por lo tanto por un lado tenemos:

- La vía de intenso desagüe: zona por la que pasaría el agua correspondiente a una avenida de 100 años, sin producir una sobreelevación respecto de la situación natural de 0,3m.
- Zona de graves daños: zona en la que se produce una de estas tres condiciones: que el calado sea superior a 1m, que la velocidad sea superior a 1m o que el producto de ambas variables sea superior a 0,50 m²/S. Como vale con que se cumpla una de las tres condiciones, se toma de entre las tres medidas, la más restrictiva.

La zona de flujo preferente es la unión de ambas zonas, tomándose siempre las medidas más restrictivas.

El objetivo del estudio de calcular la zona de flujo preferente es completar la definición de las zonas de Dominio Público Hidráulico, y así poder conocer los usos que se podrán dar al terreno en cada caso.

HEC-RAS propone para el cálculo de la vía de intenso desagüe un análisis del estrechamiento(Encroachment) de la llanura de inundación tal como se indica en la

Figura 17. El programa determina la cota de la lámina de agua antes del estrechamiento para un periodo de retorno establecido por el usuario de 100 años obteniendo la llanura de



inundación natural. Una parte de esta llanura se corresponde con la vía de intenso desagüe de forma que el mismo caudal circulando entre esos límites no provoque una sobreelevación mayor de 0,3 metros.

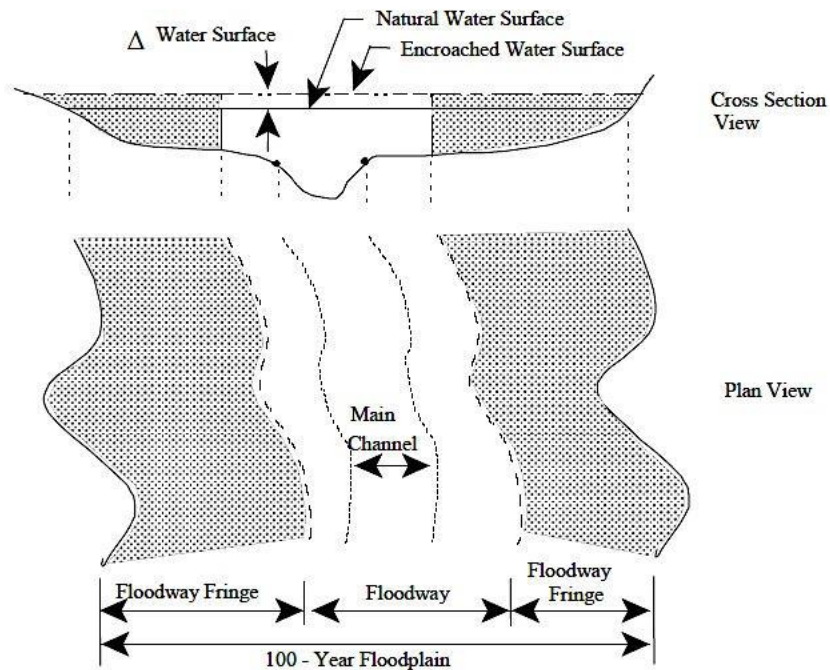


Figura 17. Definición de vía de intenso desagüe

A la hora de realizar estos cálculos el programa en su versión 5.0.7 y en flujo permanente nos propone cinco métodos diferentes:

- Método 1: en este método es el usuario quien introduce las longitudes respecto al origen de la sección que definen la posición de los límites del estrechamiento.
- Método 2: este método no puede usarse para calcular la vía de intenso desagüe porque hay que introducir la anchura máxima del cauce con lo que el programa introduce automáticamente el Encroachment.
- Método 3: no puede usarse para calcular la vía de intenso desagüe debido a que se introduce un porcentaje de reducción de la sección natural.
- Método 4: mediante este método se introduce como dato la sobreelevación buscada en cada sección y el programa introduce el Encroachment necesario para que ello se cumpla.



- Método 5: se introduce la sobreelevación buscada así como la sobreelevación de la línea de energía.

Debido a que en este caso se carecen de datos sobre la sobreelevación de la línea de energía, el método que más se ajusta al problema es el método 4. En este método se introducirá una sobreelevación fijada por el BOE para la Vía de Intenso Desagüe de 0,3 metros, y se harán modificaciones a partir del método 1, para conseguir salidas de sobreelevaciones de 0.3m.

En la siguiente figura se muestra en esquema de la aplicación de este método 4 por el programa HEC-RAS.

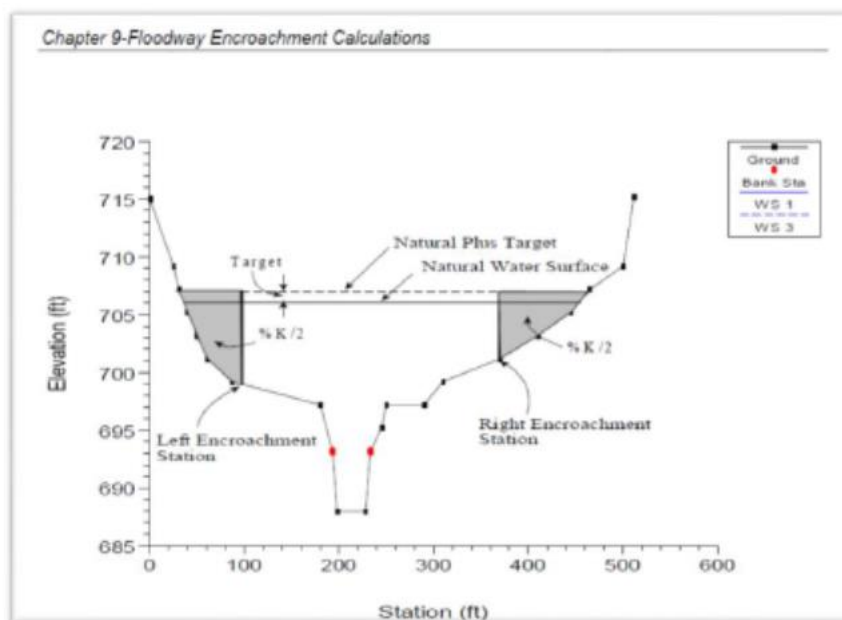


Figura 18. Cálculo del método 4

Los resultados obtenidos del análisis que se ha realizado siguiendo la metodología explicada, se presentan más adelante en el apartado número 7.

6. DATOS BÁSICOS



6.1 Caracterización geométrica

Como ya se ha comentado anteriormente, el estudio se corresponde con un tramo de unos 2.725 m de longitud del Deva, a su paso por Tama y Cillorigo de Liébana, antes de adentrarse en el desfiladero de la Hermida.

La caracterización geométrica del río se hace a partir de los 31 perfiles transversales obtenidos de un estudio topográfico. Estos perfiles representan el estado del cauce y de las márgenes en el tramo a estudiar.

También se dispone de un perfil longitudinal del río que nos da conocimiento de la sección del Azud que se encuentra en el anejo de perfiles. (Secciones 19-20).

Además, para la caracterización de los puentes se definen 2 perfiles transversales para cada puente, que corresponden con el paramento de aguas abajo y de aguas arriba del mismo.

En la siguiente tabla se muestran la denominación de los perfiles, las características especiales de cada uno, la distancia entre ellos medida en el centro del cauce, en la margen derecha y en la margen izquierda.

Los perfiles en este modelo se numeran desde aguas abajo hasta aguas arriba, siendo entonces el perfil 1, el que se encuentra en el extremo de aguas abajo de la zona de estudio y el perfil 31 el del extremo de aguas arriba.

La definición detallada de todos los perfiles de cálculo, así como las obstrucciones correspondientes y las áreas inefectivas, que permiten la definición del comportamiento del flujo correctamente, se presentarán más adelante en el anejo de resultados. Las áreas inefectivas son las correspondientes a las producidas por los puentes y por algún otro tipo de construcción cercana a los bordes del cauce.

Perfil	Nombre del perfil (distancia al punto de aguas abajo)	Distancia Margen Izquierda	Distancia Margen Izquierda	Distancia Margen Izquierda	Información Adicional
31	2654.777	129.1652	110.3	92.7594	Sección de aguas arriba del tramo
30	2544.479	78.5616	98.88	97.0888	Intermedio
29	2445.595	36.1388	50.76	55.7872	Intermedio
28	2394.838	43.6089	51.89	54.758	Intermedio
27 Aguas arriba P	2342.945	7.6	7.6	7.6	Sección Aguas arriba del puente, Obstrucción y zona inefectiva en la margen derecha e izquierda
Puente	2339.145BR U	-	-	-	Puente



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



Puente	2339.145BR D	-	-	-	Puente
Aguas abajo p	2335.345	70.9516	68.42	64.9244	Sección Aguas abajo del puente, Obstrucción en la margen derecha e izquierda
26	2266.913	82.3819	79.15	70.7019	Obstrucción en la margen derecha
25	2187.764	54.0877	55.22	53.976	Obstrucción en la margen izquierda
24	2132.545	96.3007	116.94	122.8998	Obstrucción en la margen derecha
23	2015.604	134.2135	148.89	150.0254	Intermedio
22	1866.717	59.6237	58.49	65.6245	Intermedio
21	1808.227	40.9528	23.74	29.6178	Sección aguas arriba del azud
20	1784.486	20.6054	28.92	44.5165	Sección aguas abajo del azud
19	1755.569	102.3964	103.14	104.2192	Intermedio
18	1652.426	44.7815	44.58	44.4759	Obstrucción en la margen derecha
17	1607.85	89.0767	78.45	65.8951	Intermedio
16	1529.402	70.55	67.19	62.2454	Intermedio
15	1462.209	67.065	75.35	66.3031	Intermedio
14	1386.863	74.5719	73.6	76.5989	Intermedio
13	1313.266	116.4852	155.96	179.126	Obstrucción en la margen izquierda
12	1157.306	76.6679	82.51	85.2054	Intermedio
11	1074.798	75.8673	91.68	98.4571	Intermedio
10	983.1167	130.3588	96.8	85.6679	Intermedio
9	886.3173	147.19	108.44	61.6086	Intermedio
8	777.8726	130.3157	112.24	81.6499	Intermedio
7	665.6354	107.395	108.27	99.5922	Intermedio
6	557.3661	87.8598	83.94	81.2146	Intermedio
5	473.4249	60.3032	61.65	54.9637	Intermedio
4	411.7729	90.7429	79.57	80.0411	Intermedio
3	332.198	133.7586	136.78	139.8192	Intermedio
2	195.4195	93.0973	128.36	130.39	Intermedio
1	67.06352	0	0	0	Sección de aguas abajo del tramo

Tabla 1. Perfiles de cálculo y elementos singulares

6.2 Caracterización hidráulica



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

La obtención del coeficiente de rugosidad de Manning es un aspecto muy importante en la modelización hidráulica, y su obtención no es sencilla. Habitualmente su obtención está ligada al tipo de superficie por la que discurre el flujo, existiendo numerosas tablas con este objetivo. En este estudio, para su determinación se ha optado por la utilización de la Tabla 1, denominada “Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelo del SIOSE y CLC2000” del Anejo V de la Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables, publicada por el MAGRAMA.

Para la asignación del coeficiente de Manning a cada tipo de suelo en la zona de trabajo se han valorado las siguientes fuentes cartográficas disponibles:

- Corine Land Cover, con un nivel de detalle 1:100.000, muy sencilla de aplicar pero con poco detalle espacial, y además no actualizada.
- Sistema de Información del suelo en España (SIOSE), con un nivel de detalle de 1:25.000 pero de aplicación más compleja con finalidad hidráulica.
- Tema de Cubierta terrestre en la BTA05, con detalle 1:5.000 que es el que se ha empleado.

En función del tipo de suelo identificado en la BTA05 y del valor “n” correspondiente de la tabla de a continuación, se ha asignado a cada zona un número de rugosidad.

ID_TIPO	CLASIFICACIÓN DEL USO DEL SUELO EN LA BTA05	n
0026	Vías comunicación	0.025
0029	Vías comunicación	0.025
0122	Abolado forestal	0.07
0124	Cultivos herbáceos	0.04
0125	Cultivos leñosos	0.05
0126	Huerta	0.04
0128	Prado	0.035
0129	Pastizal	0.035
0130	Matorral	0.07
0132	Roquedo	0.025



0133	Suelo desnudo	0.03
0140	Vegetación y arbolado humano	0.09
0141	Núcleo urbano	0.1
0012	Hidrografía	0.031
9999	Vacíos núcleo urbano	0.031
0139	Cortafuegos	0.03

Tabla 2. Uso de suelo y coeficiente de Manning

Se adjunta además el mapa 2.4 en el anejo de mapas, donde se representan los usos del suelo y coeficientes de Manning.

6.3 Caudales y condiciones de contorno

Existen distintas formas de obtener caudales de avenida para un periodo de retorno determinado en un punto de un curso de agua. Se puede calcular el caudal de avenida mediante una formula o ábaco calibrado, mediante una estación de aforo o mediante modelos hidrológicos más o menos complejos.

Para realizar el análisis de zonas inundables se necesita obtener los caudales de avenida correspondientes a periodos de retorno de 500, 100 y 10 años.

En el caso de este estudio, para obtener los caudales de avenida que se necesitan se seguirá la metodología propuesta por la Confederación Hidrográfica del Norte, en el Plan Hidrológico Norte II, la cual propone la utilización de un ábaco en el que entrando en el eje de abscisas con el área de la cuenca que afecta al tramo y la curva correspondiente al periodo de retorno que se busca, se obtiene en el eje de ordenadas el caudal específico.

Este ábaco puede ser utilizado, tal y como se recoge en la normativa del plan, para el dimensionamiento de obras cuya cuantía no supere los 150.000 € y suele tomarse como un valor de referencia para cualquier estudio que se apoye en un modelo hidrológico.



Un problema que plantea la utilización de este gráfico es que proporciona el mismo caudal para cuencas de igual superficie independientemente de su situación dentro del norte peninsular, o de su disposición dentro de una misma cuenca, lo que hace que en ocasiones los resultados difieran de aquellos obtenidos mediante un modelo hidrológico más preciso. Sin embargo, siempre está del lado de la seguridad puesto que se obtienen siempre caudales mayores de los que realmente se producen en la realidad.

Por lo tanto, el dato fundamental que se necesita para emplear este método, es la superficie de la cuenca vertiente en el punto de interés.

Para su obtención se emplearon exclusivamente datos de un modelo digital de elevaciones (MDE):

- Delimitación de la cuenca con origen en DMA Cantabria
- Red hidrográfica con origen en DMA Cantabria
- DEM de ancho de celda dividido según la cuadrícula de hoja cartográfica 1:5000 obtenido del centro nacional de información geográfica

En el anejo de Delimitación de la cuenca, se explica el proceso para obtener el área buscada.

En este estudio, el resultado obtenido es que la cuenca que aporta agua al Deva tiene un área de 463,46 km².

Haciendo uso de estas superficies calculadas y del ábaco propuesto por la Confederación, que se muestra en la figura, se obtienen los caudales de avenida para los distintos periodos de retorno.

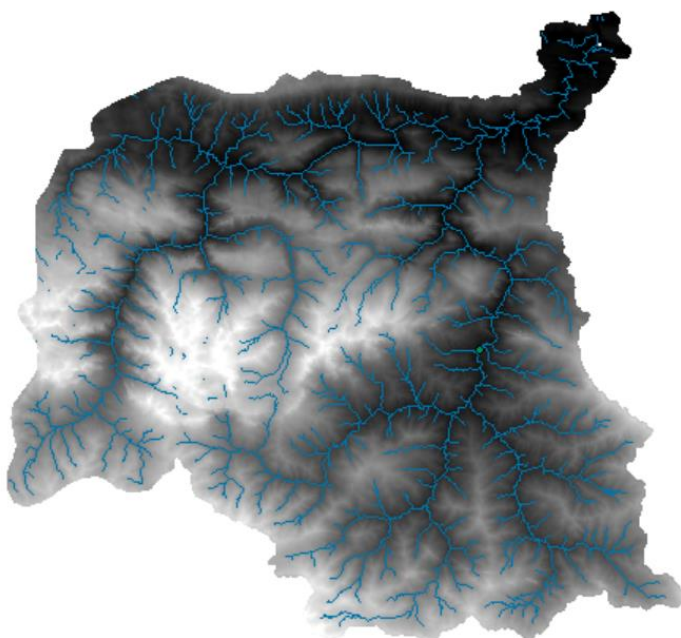




Figura 19. MDE creado para hallar el área de la cuenca



Figura 20. Área de la cuenca que aporta al punto de aguas abajo del río Deva

Se recogen en la siguiente tabla los caudales específicos y caudales obtenidos a partir del área de la cuenca:



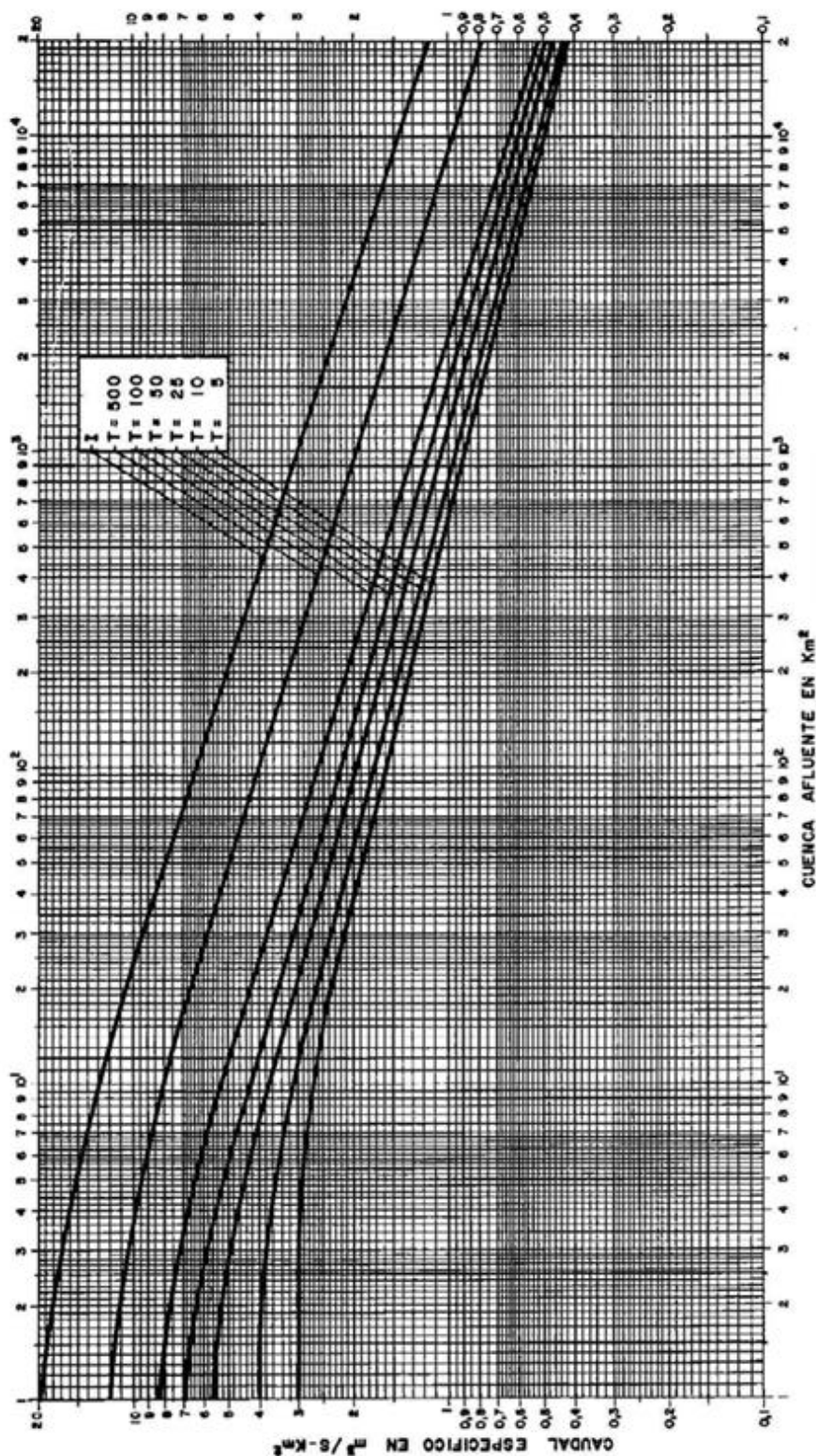
Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

CAUDALES DE AVENIDA AGUAS ARRIBA DE LA CONFLUENCIA			
T (AÑOS)	RÍO DEVA		
	SUPERFICIE (km ²)	Qespecífico (m ³ /s/km ²)	Q(m ³ /s)
500	463,46	2,5	1158,65
100	463,46	1,65	764,71
10	463,46	1,19	551,51

Tabla 3. Valor de los caudales de avenida

Además de los caudales, para realizar la simulación hidráulica con HEC-RAS se necesita establecer una condición de contorno. Al ser supuesto régimen lento para cada uno de los caudales de avenida considerados, se toma como condición de contorno la pendiente del lecho del río existente en el extremo aguas abajo.

Si se toma la pendiente entre los perfiles 1 y 2 se admite la hipótesis de régimen uniforme, se establece como condición de contorno la pendiente longitudinal obtenida en el plano topográfico igual a 0,0085. Una vez realizados todos los cálculos se ha comprobado que el número de Froude era inferior a uno en todos los casos, y por lo tanto que se cumplía la condición de régimen lento.



CAUDALES ESPECÍFICOS DE AVENIDAS EN
FUNCION DE LA CUENCA AFLUENTE Y DEL
PERIODO DE RETORNO T.
I. AVENIDA MAXIMA PROBABLE

Figura 21. Gráfico para el cálculo de caudales específicos de avenida



7. SITUACIONES CONSIDERADAS

Se considerarán dos situaciones para el cálculo:

- La primera, que se denominará situación natural, en la que se realizan los cálculos hidráulicos en la geometría establecida mediante los 31 perfiles transversales del río Deva, que se han comentado anteriormente.
- La segunda se corresponde con la denominada vía de intenso desagüe (VID), que ha quedado definida en el apartado 5.3.

La combinación de los resultados de esta segunda situación que delimitan la vía de intenso desagüe, con los relativos a las zonas de posibles graves daños, que siguen los criterios indicados anteriormente, permiten establecer la zona de flujo preferente (ZFP).

Mediante la realización de estos cálculos se podrá analizar la situación del cauce para las dos situaciones y para distintos caudales de avenida en las zonas de interés.

8. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Situación natural

En este apartado se va a proceder a realizar una definición tanto numérica como gráfica de los resultados obtenidos tras la simulación del estudio con HEC-RAS para los caudales de avenida de 500, 100 y 10 años de periodo de retorno.

En el anejo de resultados se presenta toda la información relativa al estudio, en la que se incluyen: perfil longitudinal para la situación natural y la vía de intenso desagüe, tablas numéricas que recogen datos de cotas de las láminas de agua y velocidades del flujo entre otros, los gráficos correspondientes a cada perfil transversal y las secciones de los perfiles transversales con la división de las velocidades que lleva el flujo en cada zona de las márgenes del río. En estos perfiles se incluye la definición geométrica de los mismos, los puentes que intervienen, y los niveles del agua relativos a cada caudal de avenida.

A continuación, se presentan los valores de las cotas de la lámina de agua en los perfiles del río Deva de la zona de estudio para los distintos periodos de retorno considerados de 10, 100 y 500 años.



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

Número de Perfil	Cotas de la lámina de agua (m)		
	T= 10 años	T=100 años	T=500 años
2654.777	253.67	254.55	255.94
2544.479	253.03	254.2	256.88
2445.595	253.32	254.52	257.1
2394.838	252.25	254.05	257
2342.945	251.68	252.79	255.11
2339.145-Bridge			
2335.345	251.2	252.12	253.62
2266.913	251.69	252.65	253.81
2187.764	250.49	251.34	252.9
2132.545	250.63	250.96	252.13
2015.604	250.07	250.6	251.69
1866.717	248.47	249.23	250.4
1808.227	248.12	248.8	250.09
1784.486	247.97	248.84	249.98
1755.569	247.54	248.16	249.61
1652.426	246.75	247.6	249.5
1607.85	246.43	247.15	248.58
1529.402	245.46	245.82	247.48
1462.209	244.68	245.49	246.48
1386.863	244.04	244.56	245.93
1313.266	243.83	244.38	245.3
1157.306	243.64	243.98	244.41
1074.798	243.02	243.32	243.69
983.1167	241.57	242.68	243.09
886.3173	241.18	241.78	242.64
777.8726	240.28	240.83	241.55
665.6354	239.32	239.97	241.1
557.3661	238.34	239.24	240.65
473.4249	238.22	239.1	240.4
411.7729	237.18	237.99	239.25
332.198	236.62	237.39	238.49
195.4195	235.55	236.17	236.8
67.06352	234.15	234.47	234.94

Tabla 4. Perfiles de cálculo y elementos singulares

Se adjuntan en los anejos de mapas, la macha de inundación correspondiente a estas cotas.

Los mapas correspondientes son el mapa 5.1, mapa 5.2 y mapa 5.3.



Se adjuntan también las tablas en los anejos de tablas, las tablas estándar procedentes de Hec-Ras.

En la siguiente imagen se puede ver la mancha de inundación para la peor situación de inundación, correspondiente al tiempo de retorno de 500 años. (Se adjunta también como el mapa 5.1)

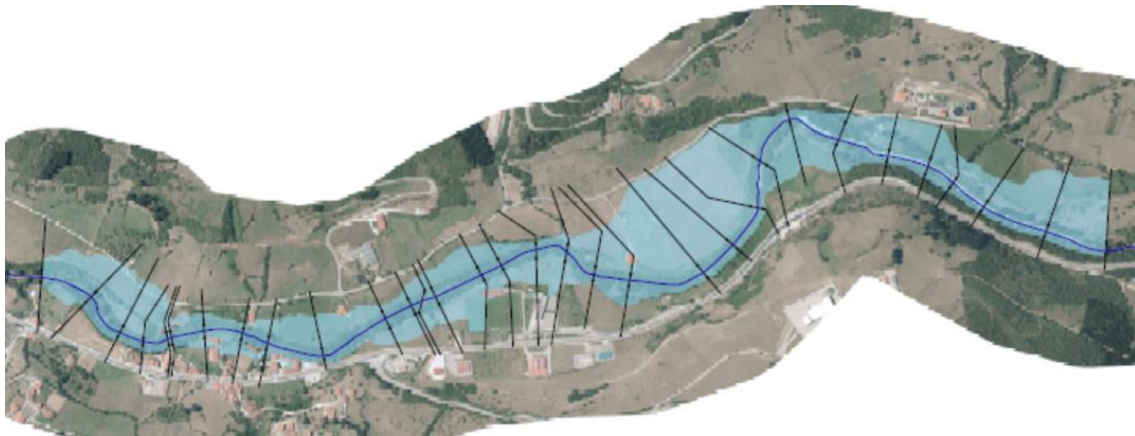


Figura 22.Zona inundada para T=500 años

Asociado a este mapa cabe comentar distintos aspectos. Comenzando desde aguas arriba, la primera inundación importante se produce en las inmediaciones del puente. La inundación por la margen izquierda tiene gran tamaño, puesto que la cota de las márgenes no sube mucho respecto de la cota del río. Por el contrario en la margen derecha, el terreno sube de cota de forma inmediata, haciendo que la inundación ocupe menor zona. A ambos lados afecta a casa, tanto las que están pegadas al puente como otra de la zona cercana.

En la zona posterior del puente, se estrecha la zona inundada y después vuelve a abrirse por el lado izquierdo.

El azud no supone ninguna afección puesto que tiene un tamaño muy pequeño, si se compara con los calados que se alcanzan.



Si seguimos avanzando hacia aguas abajo, se llega a la zona en la que se centra este estudio, la finca de Santa Leocadía. Se puede observar en la siguiente imagen que inunda completamente para este período de retorno de 500 años, lo que implica que no se podría llevar a cabo la compatibilidad de ambos usos, turístico y agrícola.

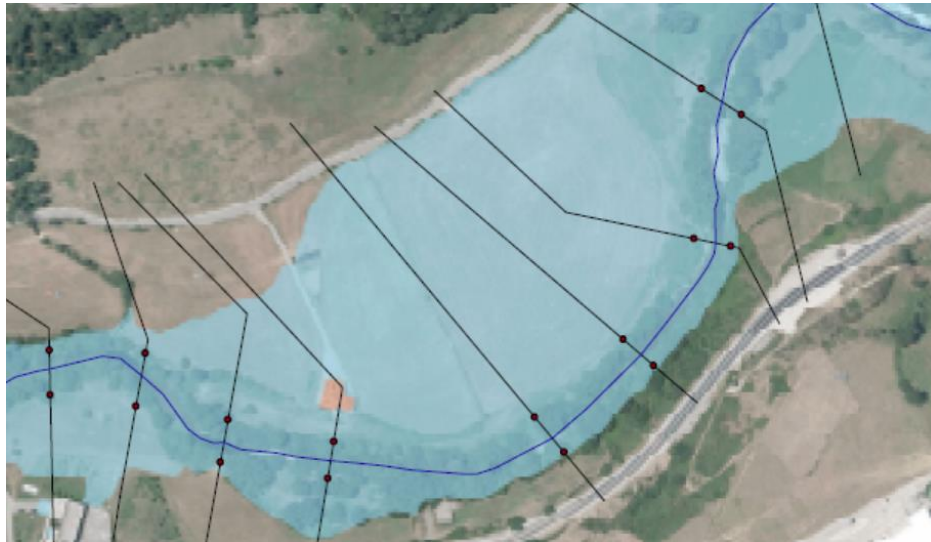


Figura 23. Inundación de la finca de Santa Leocadía para el caudal correspondiente a T=500

Cabe destacar, que la EDAR que hay más adelante no es alcanzada para el caudal correspondiente al período de retorno de 500 años, y por lo tanto se puede confirmar que está completamente protegida de las inundaciones.

Las carreteras no son alcanzadas excepto en la zona de aguas arriba en el lado izquierdo, que cubre un pequeño tramo.

Como comentario general, que no solo ocurre al principio, si no que se produce en prácticamente todo el tramo, la margen derecha no sufre de inundaciones tan pronunciadas como ocurre en la izquierda porque el terreno tiene una pendiente mucho más pronunciada que en la margen izquierda que se caracteriza por ser mucho más plana y baja.

Los calados de inundación para el periodo de retorno de 500 años, van desde 0 m hasta los 10m aproximadamente.

Las diferencias entre la zona inundada por el caudal de T=500 años y T=100 años sobre todo se diferencia en la zona de aguas arriba en la margen izquierda, donde con T=100 años no se alcanza la carretera. Se reduce también la macha de inundación en la zona central del tramo de estudio en la margen derecha, donde no sube tanto la cota del agua. La finca de Santa



Leocadía , que es la principal zona de interés permanece prácticamente igual. Las alturas de calado para T=100 años varía entre 0 y 7 m, por lo que se reduce 3m precisamente por la zona menos inundada en la margen derecha, que es de gran pendiente lateral.

Por último para T=10 años, la mancha de inundación no varía prácticamente respecto de la de T=100 años. La finca de Santa Leocadía reduce en algunas partes la zona inundada, pero el agua sigue llenando gran parte de ella. La altura de calado varía entre 0 y 6m, lo que no supone una gran diferencia respecto de la altura de calado de T=100 años.

En los anejos de mapas, se incluyen los calados en los mapas de calado (mapa 4.1, mapa 4.2 y mapa 4.3).

Aunque en función de los caudales sacados a partir de los ábacos, la zona inunde con relativa facilidad, incluso con el período de retorno de 10 años, en la realidad, no se producen con tanta frecuencia inundaciones. Los ábacos proporcionan caudales del lado de la seguridad.

Zona de flujo preferente

Tal como se ha indicado anteriormente, para poder determinar la Zona de Flujo Preferente (ZFP) hay que calcular tanto la zona de graves daños como la correspondiente a la vía de intenso desagüe.

En primer lugar, para determinar la vía de intenso desagüe se ha utilizado el Método 4 de Encroachment, expuesto en el apartado 4.3 intentando conseguir una elevación máxima de la lámina de agua de 0,3 m.

Imponiendo la condición de una sobreelevación máxima de 0,3 m en cada perfil, ocurre que en algunos de los perfiles la sobreelevación que se obtiene es muy importante. Por esta razón, la metodología a seguir consiste en ir rebajando el nivel objetivo del perfil aguas abajo del problema mediante el método 1, para acabar consiguiendo una sobreelevación máxima aproximada de 0,3 m. Para conseguir esto inevitablemente en otros perfiles la sobreelevación estará muy por debajo del objetivo inicial de 0,3 m.

El resultado de este proceso señalando la cota de la lámina de agua tanto en la situación inicial como en la del estrechamiento, así como la diferencia obtenida y la posición de los estrechamientos en el eje x de cada perfil, se encuentra expuestos a continuación en la siguiente tabla. De esta forma queda determinada la vía de intenso desagüe.



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique



Se adjuntan en los anejos, los mapas 5.1 y 5.2 correspondientes a la mancha de inundación y altura de calados respectivamente de la zona de flujo preferente.

Perfil	Cota de la lámina de agua (T=100 años)		Sobreelevación	Vía de Intenso Desagüe	
	Situación Natural	Estrechamiento		Izquierda	Derecha
2654.777	254.55	254.55	0	107.39	132
2544.479	254.2	253.87	-0.34	135.12	165.85
2445.595	254.52	254.43	-0.09	132.91	182.23
2394.838	254.05	253.58	-0.48	100.24	140.82
2342.945	252.79	252.79	0	0	189.96
2339.145BR U		252.48	0	0	189.96
2339.145BR D		252.11	0	0	189.96
2335.345	252.12	252.4	0.27	0	189.96
2266.913	252.65	252.91	0.25	69.15	186.01
2187.764	251.34	251.3	-0.04	62.64	93.56
2132.545	250.96	251.07	0.11	77.23	105.87
2015.604	250.6	250.5	-0.1	99.87	143.18
1866.717	249.23	249.48	0.25	67.47	105.4
1808.227	248.8	248.76	-0.03	55.41	96.06
1784.486	248.84	248.94	0.1	59.39	105.56
1755.569	248.16	248.4	0.24	63.69	100.36
1652.426	247.6	247.72	0.12	69.63	107.9
1607.85	247.15	247.07	-0.08	68.92	106.8
1529.402	245.82	246.13	0.31	109.58	139.79
1462.209	245.49	245.46	-0.03	121.66	158.01
1386.863	244.56	244.55	0	194.45	226.83
1313.266	244.38	244.27	-0.11	224.76	270.62
1157.306	243.98	243.83	-0.15	206.19	290.18
1074.798	243.32	243.39	0.07	129.08	250.06
983.1167	242.68	242.21	-0.48	174.77	236.32
886.3173	241.78	242	0.22	77.79	153.46
777.8726	240.83	240.68	-0.15	15.97	69.09
665.6354	239.97	240.32	0.35	59.76	109.78
557.3661	239.24	239.37	0.13	53.82	105.68
473.4249	239.1	239.15	0.05	71.42	105.51
411.7729	237.99	238.1	0.11	96.67	135.04
332.198	237.39	237.33	-0.06	124.77	156.56
195.4195	236.17	236.16	-0.02	104.46	174.9
67.06352	234.47	234.67	0.2	85.79	174.03

Tabla 5. Sobreelevaciones de la Vía de intenso desagüe



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Para determinar la Zona de Graves Daños deben cumplirse alguna de las condiciones que ya han sido explicadas anteriormente. Se ha obtenido gráficamente, a partir de los perfiles en los que se incluye la división de velocidades en el anejo de secciones, el intervalo del eje x en el que se cumplen las condiciones de $V>1$, $Y>1$ o producto de velocidad y calado mayor que 0,5. Es la envolvente de estas 3 condiciones, la que establece la Zona de Graves Daños en cada una de las márgenes respectivamente, definida mediante los valores en el eje x. En la siguiente tabla se presenta la X que define la zona de Graves daños y que condición de las tres posibles, ha sido la que ha controlado la posición.

Número de perfil	Nombre del perfil	Margen Izquierda			Borde de cauce	Zona de graves daños
		$V>1$	$y>1$	$v*y>0.5$		
31	2654.777	$x>94.22$			107.39	94.22-107.39
30	2544.479	$x>117.33$			136.31	117.33-136.31
29	2445.595		$x>116.04$		155.26	116.04-155.26
28	2394.838	$x>82.44$			121.94	82.4-121.94
27 Aguas arriba P	2342.945	$x>98.31$			97.32	97.32
Puente	2339.145BR U	$x>98.31$			97.32	97.32
Puente	2339.145BR D	$x>98.31$			97.32	97.32
Aguas abajo P	2335.345	$x>98.31$			97.32	97.32
26	2266.913	$x>63.78$			71.58	63.78-71.58
25	2187.764			$x>62.21$	63.4	62.21-63.4
24	2132.545	$x>65.78$			77.53	65.78-77.53
23	2015.604	$x>73.79$			117.56	73.79-117.56
22	1866.717	$x>59.61$			67.47	59.61-67.47
21	1808.227	$x>45.5$			60.66	45.5-60.66
20	1784.486			$x>40$	59.39	40-59.39
19	1755.569	$x>47.77$			63.69	47.77-63.69
18	1652.426			$x>54.18$	76.78	54.18-76.78
17	1607.85			$x>60.1$	80.7	60.1-80.7
16	1529.402	$x>107.24$			109.58	107.24-109.58
15	1462.209	$x>118.68$			121.66	118.68-121.66
14	1386.863	$x>168.85$			197.01	168.85-197.01
13	1313.266	$x>174.35$			232.47	174.35-232.47
12	1157.306			$x>72.74$	258.2	72.74-258.2
11	1074.798	$x>17.8$			221.63	17.8-221.63
10	983.1167			$x>84.46$	209.25	84.46-209.25
9	886.3173	$x>27.16$			108.63	27.16-108.63
8	777.8726			$x>15.8$	16.12	15.8-16.12



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

7	665.6354		$x > 54.4$		59.76	54.40-59.76
6	557.3661	$x > 19.76$			79.03	19.76-79.03
5	473.4249		$x > 54.33$		71.42	54.33-71.42
4	411.7729	$x > 81.77$			109.04	81.77-109.04
3	332.198	$x > 98.4$			131.19	98.40-131.19
2	195.4195			$x > 51.36$	147.88	51.36-147.88
1	67.06352			$x > 36.13$	147.54	36.13-147.54

Tabla 6. Zonas de graves daños: margen izquierda

Número de perfil	Nombre del perfil	Margen Derecha			Borde de Cauce	Zona de graves daños
		$V > 1$	$y > 1$	$v * y > 0.5$		
31	2654.777	$x < 138.33$			132	132-138.33
30	2544.479	$x < 173.70$			165.31	165.31-173.30
29	2445.595			$x < 182.59$	179.27	179.27-182.59
28	2394.838	$x < 143.56$			136.07	136.07-143.56
27 Aguas arriba	2342.945	$x < 123.71$			124.7	124.7
Puente	2339.145BR U	$x < 123.71$			124.7	124.7
Puente	2339.145BR D	$x < 123.71$			124.7	124.7
Aguas abajo	2335.345	$x < 123.71$			124.7	124.7
26	2266.913	$x < 99.23$			99.23	99.23-99.23
25	2187.764	$x < 102.07$			86.16	86.16-102.07
24	2132.545	$x < 113.66$			105.34	105.34-113.66
23	2015.604			$x < 143.4$	140.98	140.98-143.4
22	1866.717	$x < 105.40$			105.4	105.4-105.4
21	1808.227			$x < 97.5$	95.07	95.07-97.5
20	1784.486			$x < 107.81$	105.56	105.56-107.81
19	1755.569			$x < 104.86$	100.36	100.36-104.86
18	1652.426	$x < 109.95$			106.32	106.32-109.95
17	1607.85	$x < 109.17$			104.58	104.58-109.17
16	1529.402	$x < 153.42$			139.79	139.79-153.42
15	1462.209	$x < 192.02$			158.01	158.01-192.02
14	1386.863			$x < 229.30$	226.22	226.22-229.30
13	1313.266			$x < 295.03$	257.6	257.6-295.03
12	1157.306			$x < 291$	289.13	289.13-291
11	1074.798			$x < 250.38$	248.89	248.89-250.38
10	983.1167			$x < 237.75$	234.73	234.73-237.75
9	886.3173			$x < 172.4$	140.77	140.77-172.4
8	777.8726			$x < 113.1$	38.87	38.87-113.1
7	665.6354			$x < 158.27$	109.78	109.78-158.27
6	557.3661			$x < 105.92$	104.48	104.48-105.92
5	473.4249			$x < 111.54$	105.51	105.51-111.54



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

4	411.7729	$x < 139.28$			131.82	131.82-139.28
3	332.198			$x < 157.52$	156	156-157.52
2	195.4195			$x < 176.43$	173.19	173.19-176.43
1	67.06352			$x < 174.47$	172.93	172.93-174.47

Tabla 7. Zona de graves daños: margen derecha

Una vez definida tanto la vía de intenso desagüe como la zona de graves daños, la Zona de Flujo Preferente será la correspondiente a la envolvente exterior de las mismas. Todos los valores recogidos de la vía de intenso desagüe y de la zona de graves daños, así como de la buscada Zona de Flujo Preferente están recogidos a continuación en la siguiente tabla.

Número de perfil	Nombre del perfil	Vía de Intenso Desagüe		Zona de graves daños		Zona de flujo preferente	
		Izq	Der	Izq	Der		
31	2654.777	107.39	132	94.22-107.39	132-138.33	94.22	138.33
30	2544.479	135.12	165.85	117.33-136.31	165.31-173.30	117.33	173.3
29	2445.595	132.91	182.23	116.04-155.26	179.27-182.59	116.04	182.59
28	2394.838	100.24	140.82	82.4-121.94	136.07-143.56	82.4	143.56
27 Aguas arriba P	2342.945	0	189.96	97.32	124.7	0	189.96
Puente	2339.145BR U	0	189.96	97.32	124.7	0	189.96
Puente	2339.145BR D	0	189.96	97.32	124.7	0	189.96
Aguas abajo P	2335.345	0	189.96	97.32	124.7	0	189.96
26	2266.913	69.15	186.01	63.78-71.58	99.23-99.23	63.78	186.01
25	2187.764	62.64	93.56	62.21-63.4	86.16-102.07	62.21	102.07
24	2132.545	77.23	105.87	65.78-77.53	105.34-113.66	65.78	113.66
23	2015.604	99.87	143.18	73.79-117.56	140.98-143.4	73.39	143.4
22	1866.717	67.47	105.4	59.61-67.47	105.4-105.4	59.61	105.4
21	1808.227	55.41	96.06	45.5-60.66	95.07-97.5	45.5	97.5
20	1784.486	59.39	105.56	40-59.39	105.56-107.81	40	107.81
19	1755.569	63.69	100.36	47.77-63.69	100.36-104.86	47.77	104.86
18	1652.426	69.63	107.9	54.18-76.78	106.32-109.95	54.18	109.95
17	1607.85	68.92	106.8	60.1-80.7	104.58-	60.1	109.17



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

					109.17		
16	1529.402	109.58	139.79	107.24-109.58	139.79-153.42	107.24	153.42
15	1462.209	121.66	158.01	118.68-121.66	158.01-192.02	118.68	192.02
14	1386.863	194.45	226.83	168.85-197.01	226.22-229.30	168.85	229.3
13	1313.266	224.76	270.62	174.35-232.47	257.6-295.03	174.35	295.03
12	1157.306	206.19	290.18	72.74-258.2	289.13-291	72.74	291
11	1074.798	129.08	250.06	17.8-221.63	248.89-250.38	17.8	250.38
10	983.1167	174.77	236.32	84.46-209.25	234.73-237.75	84.46	237.75
9	886.3173	77.79	153.46	27.16-108.63	140.77-172.4	27.16	172.4
8	777.8726	15.97	69.09	15.8-16.12	38.87-113.1	15.8	113.1
7	665.6354	59.76	109.78	54.40-59.76	109.78-158.27	54.4	158.27
6	557.3661	53.82	105.68	19.76-79.03	104.48-105.92	19.76	105.92
5	473.4249	71.42	105.51	54.33-71.42	105.51-111.54	54.33	111.54
4	411.7729	96.67	135.04	81.77-109.04	131.82-139.28	81.77	139.28
3	332.198	124.77	156.56	98.40-131.19	156-157.52	98.4	157.52
2	195.4195	104.46	174.9	51.36-147.88	173.19-176.43	51.36	176.43
1	67.06352	85.79	174.03	36.13-147.54	172.93-174.47	36.13	174.47

Tabla 8. Determinación de la zona de flujo preferente



9. CONCLUSIONES

Una vez concluido el estudio y a partir de toda la información expuesta en los apartados anteriores, se establecen las siguientes conclusiones.

En cuanto a la parte topográfica, se ha conseguido crear un modelo de terreno a partir de la información obtenida (nube de puntos) por el vuelo fotogramétrico que se llevó sobre la zona, a pesar de las complicaciones que ha supuesto que fuera tan arbolada.

En cuanto a la parte hidráulica, se ha diferenciado entre la situación natural y la de flujo preferente.

Referido a la situación actual, aunque se hayan comentado aspectos de todos los períodos de retorno, la avenida de 500 años es la que se ha estudiado con más profundidad pues es la que podría producir mayores daños. Aunque la mayoría de las inundaciones se producirían sobre prados, sí que supondrían daños en las edificaciones cercanas al río como son las casas de al lado del puente, o mismamente la de la finca de Santa Leocadía. Según este estudio, llevado cabo con los caudales obtenidos con el ábaco propuesto por la Confederación, no se podría convertir la zona de la finca en una zona turística puesto que tiene peligro de inundación.

En lo que se refiere a la situación de la vía de intenso desagüe, la zona de flujo preferente que se ha determinado servirá para aumentar la zona de seguridad y se reducirá el riesgo de producción de daños en personas y bienes. De esta forma estará completa la definición de Dominio Público Hidráulico y se podrá proceder a estudiar los usos que se podrán dar al suelo en cada caso concreto.



10. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- <http://dmacantabria.cantabria.es/visorWeb/pdf/RIOS/deva.pdf>
- <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- <http://mapas.cantabria.es/>
- Cagigal Gil, L. (2015). Estudio de Inundabilidad del río Pas en Vega de Pas. TFG Ingeniería Civil, Universidad de Cantabria.
- Miera Domínguez, H. (2015) Modelización Hidráulica a partir de datos Lidar en el río Miera, TFG Ingeniería Civil, Universidad de Cantabria.
- Tobar García, A. (2016) Estudio de inundabilidad del río Nansa en Puenteansa, TFG Ingeniería Civil, Universidad de Cantabria.



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



PLANOS



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



I. Anejo fotográfico



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



Figura 24. Zona de aguas arriba



Figura 25. Sección aguas arriba del puente



Figura 26. Arco secundario del puente



Figura 27. Sección aguas abajo del puente



Figura 28. Vista del cauce entre el puente y el azud



Figura 29. Vista del azud





Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Figura 30. Vista característica de la zona por el tipo de suelo



Figura 31. Finca de Santa Leocadía



II. Anejo de Caracterización topográfica de la zona



1 Introducción

Para la realización del estudio hidráulico es preciso contar con información cartográfica y batimétrica con precisión adecuada, típicamente en un conjunto de secciones de control, reflejando tanto la sección topográfica del terreno como las estructuras existentes.

Las bases cartográficas existentes han sido las siguientes:

- Bases cartográficas oficiales. Ninguna tenía la precisión requerida, en particular: Base Topográfica armonizada (equidistancia de 5 m), modelos digitales de elevaciones (resolución geométrica 5 m).
- Datos Lidar. El estudio de los mismos desaconsejó su uso, debido a la muy baja densidad que mostraban en la zona de interés, con abundante vegetación en la ribera del cauce.
- Cartografía de detalle de la zona de interés, en el entorno de la finca de Santa Leocadía, obtenida por métodos clásicos. Esta base cartográfica, que incluye batimetría, abarca una zona que es significativamente inferior a la zona de estudio del presente proyecto.

Por los motivos anteriores se decidió plantear la realización de cartografía a medida para el presente proyecto. La extensión de la zona, de unos 3 km de longitud, ha motivado que la metodología existente fuese la fotogramétrica, capturada desde un dron o UAV, con apoyo fotogramétrico usando metodologías topográfico – geodésicas GNSS. Como control de los resultados, se ha usado la cartografía de detalle existente.

2. Diseño del vuelo y equipamiento utilizado.

Se ha empleado un UAV con las siguientes características:

Modelo	DJI Phantom 4 Pro v2
Dimensiones del sensor	5472 x 3648 pixeles
Camara: distancia focal	8.8 mm
Tamaño del pixel	2.4 micras

Para intentar minimizar el efecto del importante arbolado y vegetación existente en el cauce, se ha diseñado un bloque formado por dos vuelos fotogramétricos con finalidades diferentes, que se describen a continuación. En ambos casos, el solape longitudinal y transversal ha sido del 85% y del 65%, respectivamente.



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



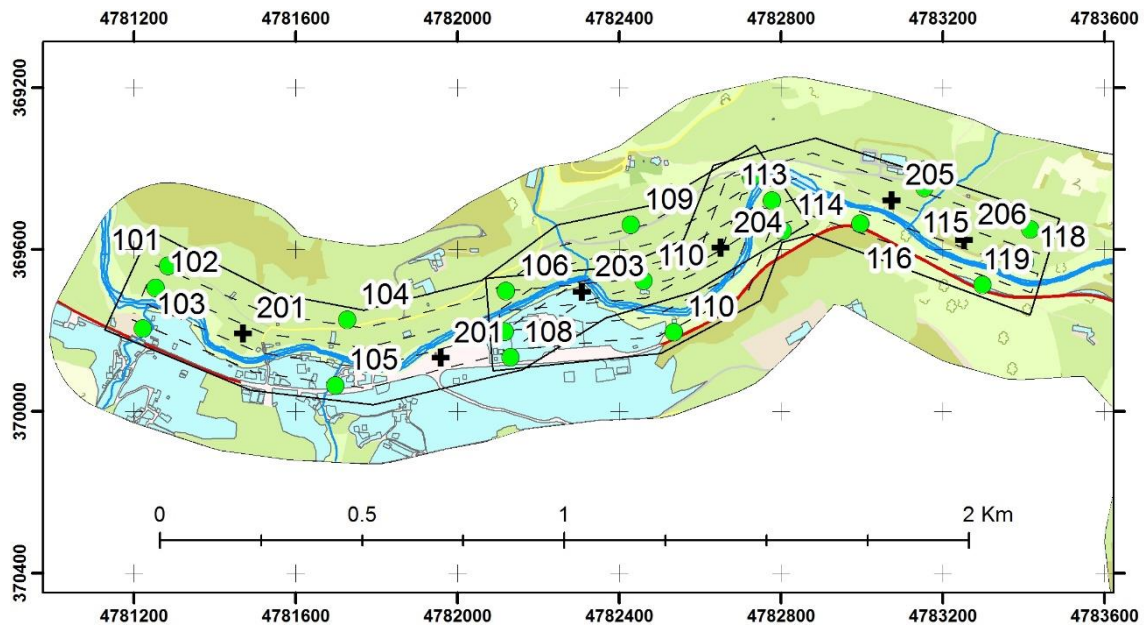
Objetivo	Características	Tamaño del pixel en el terreno (GSD)
Obtención de la cartografía de la zona de trabajo (vuelo alto)	Altura de vuelo: 120 m. Numero de pasadas: 5 Tomas cenitales	3.3 cm
Detalle del cauce (vuelo bajo)	Altura del vuelo: 90 Número de pasadas: 3 Pasada central cenital, laterales oblicuas.	4.4 cm

Finalmente indicar que el vuelo se efectuó en Febrero del presente año, priorizando que la vegetación fuese lo más escasa posible frente a las peores condiciones de luz y sombras propias de la época.

El apoyo fotogramétrico previsto, junto con la planificación del vuelo alto, se muestra en la siguiente imagen. En total, se ha planteado la observación de 19 puntos de control y 6 puntos de chequeo. Para su observación se han empleado equipos GNSS multiconstelación y multifrecuencia, modelo Leica Geosystem Smart Rover, utilizándose la metodología RTK en tiempo real usando la red activa de la Comunidad de Cantabria (<http://www.territoriodecantabria.es/cartografia-sig/servicio-correcciones-gnss-precision>).



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



Para el procesado de los datos GNSS se ha empleado el software LGO (Leica Geo Office v8), y el software pix4D mapper v4.3.33 para la obtención de los productos cartográficos.

3.- Descripción del vuelo y de la obtención de la nube de puntos.

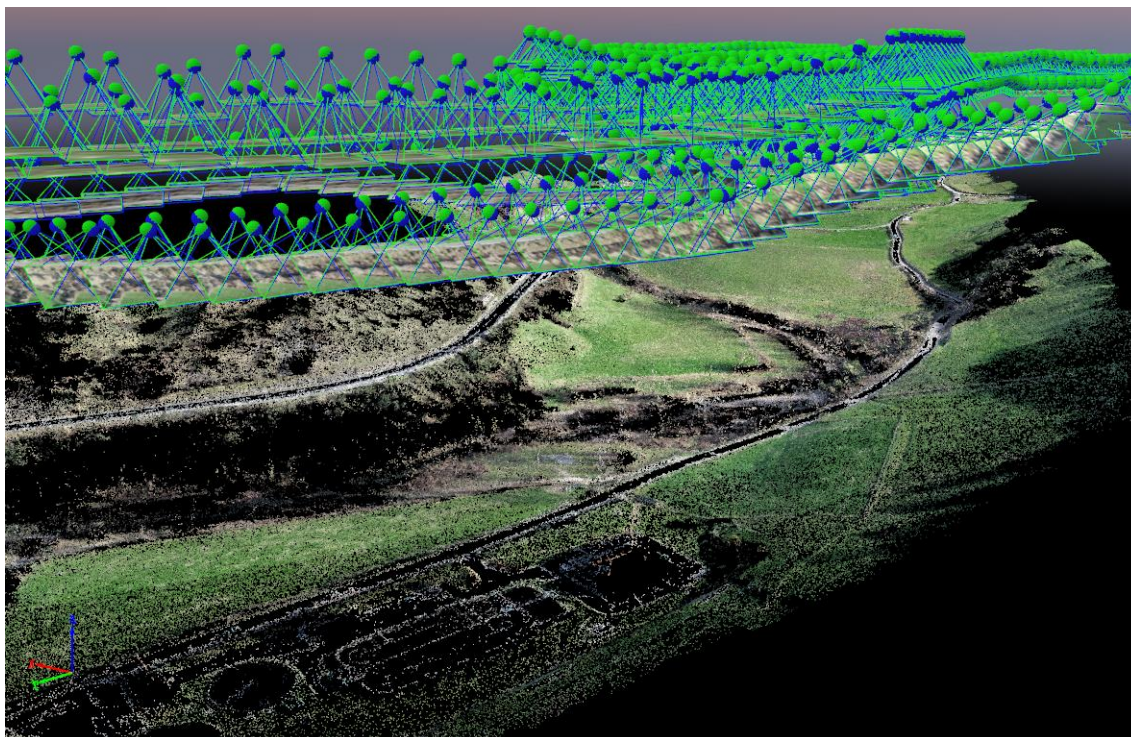
El vuelo se realizó el día 22 de Febrero, solicitándose las autorizaciones necesarias para su realización, llevándose a cabo sin incidencias. En total se tomaron 1308 imágenes. La obtención de la nube de puntos, que constituye el producto básico, se realizó en las siguientes etapas:

- Orientación inicial, en base a los datos de posición obtenidos por el UAV.
- Marcado de los puntos de apoyo y de control en las imágenes.
- Ajuste simultaneo, resolviéndose simultáneamente la orientación interna de la cámara y la orientación absoluta de las imágenes.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Densificación de la nube de puntos.

A continuación, se muestran dos imágenes significativas del proceso efectuado.

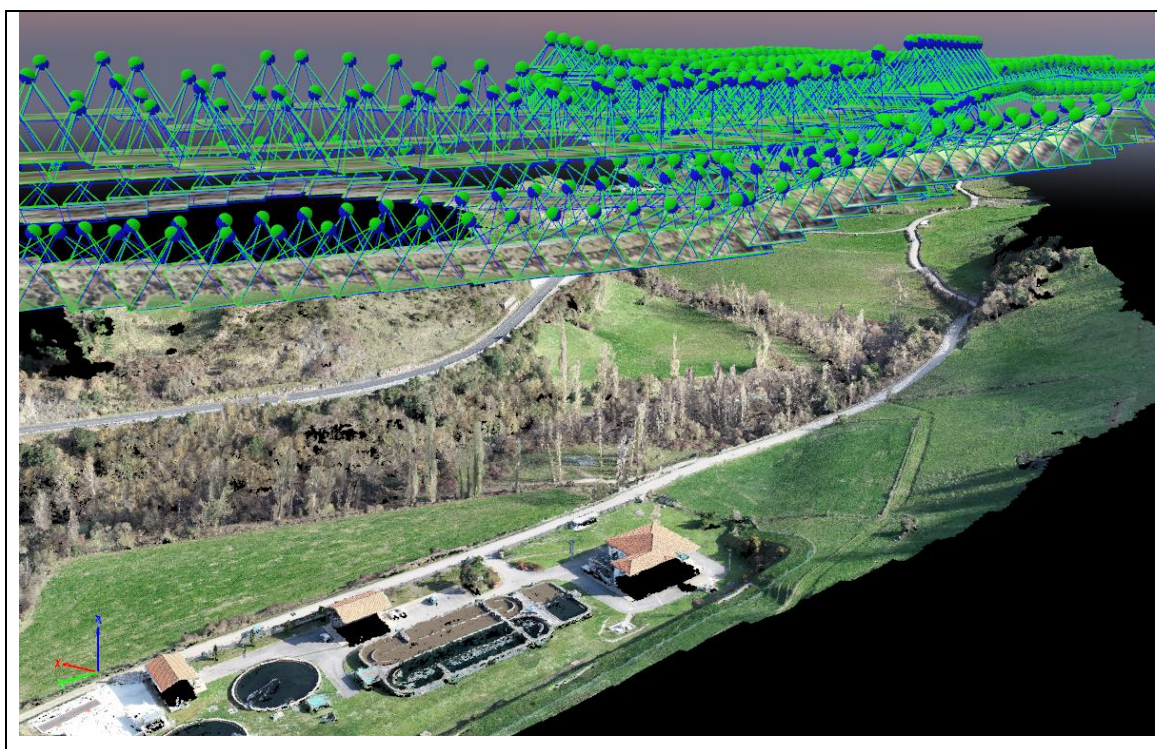


Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique



Imágenes orientadas, mostrándose los puntos de enlace. Zona del entorno de la depuradora.

Nube de puntos densificada, para la misma zona. Aspecto general y detalle.





3.- Clasificación de la nube de puntos y obtención de productos derivados.

Una vez obtenida la nube de puntos, y con el fin de proceder a su explotación desde las necesidades de la Ingeniería, se procedió a la clasificación de la nube de puntos, distinguiéndose las siguientes categorías:

- Puntos de terreno: terreno, carreteras.
- Otros puntos: vegetación, edificación, objetos humanos.

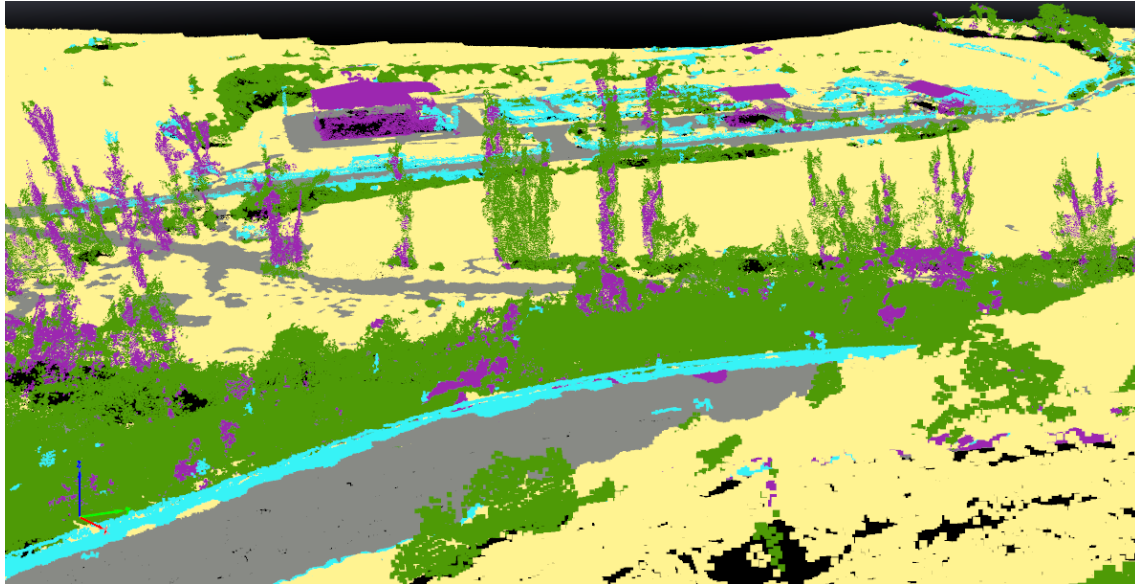
Se procedió a efectuar una revisión y edición básica de los puntos obtenidos, centrada en el entorno del cauce. Asimismo, se contrastó con los datos del levantamiento disponible. Destacar que el vuelo, en las zonas sumergidas, ha sido capaz de obtener puntos en localizaciones muy particulares, en concreto en zonas con poca profundidad, lecho rocoso y sin turbulencias en la superficie. A continuación, se muestra, para la imagen anterior, la nube de puntos clasificada.



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique



- ☒ ☐ Unclassified
- ☐ ☐ Disabled
- ☒ ☐ Ground
- ☒ ☐ Road Surface
- ☒ ☐ High Vegetation
- ☒ ☐ Building
- ☒ ☐ Human Made Object



A partir del producto anterior, se ha procedido a obtener los siguientes productos:

- Ortofotografía digital, con un tamaño de pixel de 5 cm.
- Curvado de la zona de trabajo, con equidistancia de 0.25 m.
- Captura de líneas de rotura básicas, que han definido los bordes del cauce visible, el eje del río y otras roturas necesarias.

En base a los puntos anteriores, se ha formado el modelo digital de terreno del que se ha extraído los datos de perfiles necesarios para el tratamiento hidráulico.



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

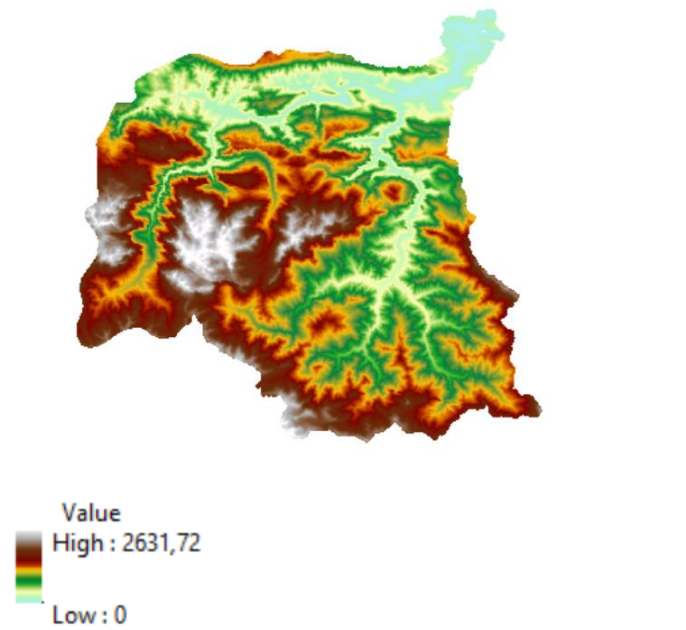
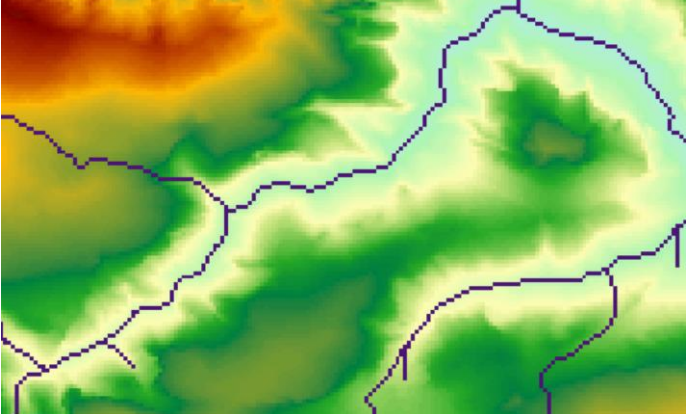



III. Anejo de la delimitación de la cuenca



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

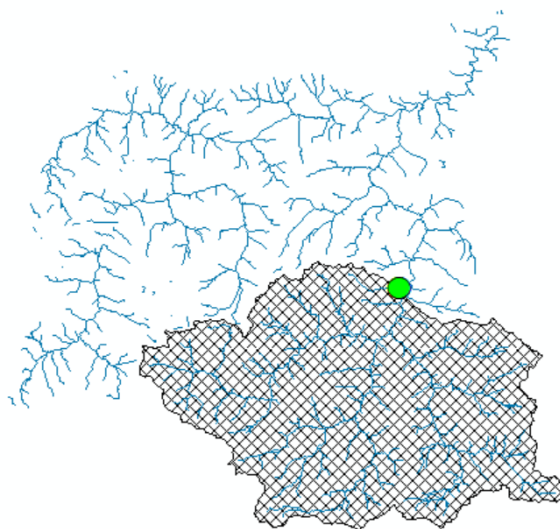
Se ha procedido a la determinación de la superficie de la cuenca utilizandn los flujos habituales de trabajo en entornos de sistemas de información geográfica. A continuación se describen los pasos básicos seguidos para conseguir este objetivo:

<p>Mosaicado del MDT a utilizar, con un tamaño de celda de 25 m, obtenido desde el CNIG. Ha sido preciso unirlo y recortarlo a una delimitación previa de la cuenca del río Deva</p>	
<p>Relleno de sumideros con objeto de eliminar errores del MDT se han rellenado todas aquellas depresiones de altura inferior a 33m, lo que permite obtener flujos continuos.</p>	
<p>Se ha procedido a derivar automáticamente un modelo de dirección de flujo (d8) que identifica que celda vierte en cada posición del mdt.</p>	
<p>Finalmente y fijando como punto de salida el correspondiente al punto de aguas abajo del tramo del río, se ha procedido a la</p>	



Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

identificación de la cuenca aguas
arriba del mismo.





IV. Anejo de resultados tabulares del cálculo hidráulico



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Tabla Estándar Situación Natural

HEC-RAS Plan: SA River: Deva Reach: Deva

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deva	2654.777	T500	1158.65	249.24	255.94	255.74	256.30	0.004783	7.12	211.58	54.19	0.93
Deva	2654.777	T100	764.71	249.24	254.55	254.55	256.49	0.005407	6.35	143.91	44.11	0.94
Deva	2654.777	T10	551.51	249.24	253.67	253.67	255.32	0.005974	5.79	107.44	38.75	0.96
Deva	2544.479	T500	1158.65	248.29	256.88		257.57	0.001143	4.12	429.70	119.01	0.48
Deva	2544.479	T100	764.71	248.29	254.20		255.29	0.002807	4.84	202.55	56.37	0.70
Deva	2544.479	T10	551.51	248.29	253.03	252.64	254.12	0.003941	4.78	139.16	51.36	0.79
Deva	2445.595	T500	1158.65	247.41	257.10		257.38	0.000483	2.89	581.96	135.06	0.31
Deva	2445.595	T100	764.71	247.41	254.62		254.94	0.000997	3.31	302.73	78.03	0.42
Deva	2445.595	T10	551.51	247.41	253.32		253.72	0.001194	3.16	219.50	65.86	0.44
Deva	2394.838	T500	1158.65	246.98	257.00		257.35	0.000726	3.49	541.02	132.66	0.36
Deva	2394.838	T100	764.71	246.98	254.05	252.91	254.84	0.002166	4.71	228.24	61.12	0.59
Deva	2394.838	T10	551.51	246.98	252.25	252.25	253.54	0.004940	5.74	129.54	49.19	0.84
Deva	2342.945	T500	1158.65	246.91	255.11	253.61	257.12	0.003540	6.28	184.59	71.28	0.72
Deva	2342.945	T100	764.71	246.91	252.79	252.12	254.59	0.004597	5.93	128.98	32.58	0.82
Deva	2342.945	T10	551.51	246.91	251.68	251.20	253.17	0.004935	5.40	102.16	27.36	0.84
Deva	2339.145		Bridge									
Deva	2335.345	T500	1158.65	246.91	253.62	253.62	256.71	0.006802	7.79	148.81	40.52	1.00
Deva	2335.345	T100	764.71	246.91	252.12	252.12	254.47	0.006964	6.78	112.80	27.91	1.00
Deva	2335.345	T10	551.51	246.91	251.20	251.20	253.09	0.007187	6.09	90.63	26.77	1.00
Deva	2266.913	T500	1158.65	246.28	253.81		255.42	0.003155	5.75	221.44	47.78	0.70
Deva	2266.913	T100	764.71	246.28	252.65		253.69	0.002446	4.59	175.54	35.25	0.61
Deva	2266.913	T10	551.51	246.28	251.69		252.50	0.002316	4.03	142.42	33.52	0.59
Deva	2187.764	T500	1158.65	245.08	252.90	252.90	255.07	0.004313	6.94	219.00	56.91	0.88
Deva	2187.764	T100	764.71	245.08	251.34	251.34	253.32	0.005419	6.45	143.73	39.89	0.94
Deva	2187.764	T10	551.51	245.08	250.49	250.49	252.14	0.005710	5.82	110.83	37.89	0.93
Deva	2132.545	T500	1158.65	245.54	252.13	252.13	254.11	0.004197	6.50	220.23	68.02	0.86



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

HEC-RAS Plan: SA River: Deva Reach: Deva (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deva	2132.545	T100	764.71	245.54	250.96	250.59	252.54	0.004294	5.67	151.82	47.98	0.84
Deva	2132.545	T10	551.51	245.54	250.63		251.60	0.002904	4.43	137.37	40.76	0.68
Deva	2015.604	T500	1158.65	245.79	251.69	251.69	253.09	0.004206	6.14	265.71	97.02	0.85
Deva	2015.604	T100	764.71	245.79	250.60	250.60	251.94	0.004971	5.73	173.07	71.03	0.89
Deva	2015.604	T10	551.51	245.79	250.07	250.07	251.17	0.004693	5.09	136.97	64.78	0.85
Deva	1866.717	T500	1158.65	244.24	250.40	250.40	251.96	0.004139	5.75	236.42	85.18	0.83
Deva	1866.717	T100	764.71	244.24	249.23	249.23	250.72	0.005340	5.43	147.82	65.06	0.91
Deva	1866.717	T10	551.51	244.24	248.47	248.29	249.74	0.005932	4.99	110.74	38.51	0.92
Deva	1808.227	T500	1158.65	244.28	250.09	250.09	251.53	0.004053	5.69	252.76	102.13	0.81
Deva	1808.227	T100	764.71	244.28	248.80	248.80	250.27	0.005777	5.56	152.49	55.33	0.93
Deva	1808.227	T10	551.51	244.28	248.12	248.12	249.38	0.006333	5.08	116.87	49.83	0.94
Deva	1784.486	T500	1158.65	244.21	249.98		250.76	0.001826	4.13	335.77	123.11	0.57
Deva	1784.486	T100	764.71	244.21	248.84		249.52	0.002072	3.74	228.22	78.83	0.59
Deva	1784.486	T10	551.51	244.21	247.97		248.59	0.002559	3.55	165.07	65.13	0.63
Deva	1755.569	T500	1158.65	243.30	249.61		250.67	0.002480	4.88	308.67	115.28	0.66
Deva	1755.569	T100	764.71	243.30	248.16	247.72	249.38	0.003818	4.95	168.37	61.85	0.78
Deva	1755.569	T10	551.51	243.30	247.54		248.48	0.003590	4.30	133.25	51.53	0.74
Deva	1652.426	T500	1158.65	242.11	249.50		250.40	0.001962	4.70	327.91	100.14	0.60
Deva	1652.426	T100	764.71	242.11	247.60	247.50	248.95	0.004164	5.38	167.53	64.86	0.82
Deva	1652.426	T10	551.51	242.11	246.75	246.64	248.01	0.004937	5.07	118.97	48.14	0.86
Deva	1607.85	T500	1158.65	241.47	248.58	248.58	250.21	0.003691	6.23	244.33	89.23	0.81
Deva	1607.85	T100	764.71	241.47	247.15	247.15	248.73	0.004730	5.90	153.83	50.39	0.87
Deva	1607.85	T10	551.51	241.47	246.43	246.43	247.78	0.004830	5.33	118.95	47.15	0.86
Deva	1529.402	T500	1158.65	240.91	247.48	247.48	249.06	0.003946	6.00	248.41	90.73	0.83
Deva	1529.402	T100	764.71	240.91	245.82	245.82	247.91	0.007664	6.53	127.36	46.19	1.08
Deva	1529.402	T10	551.51	240.91	245.46	245.46	246.85	0.005794	5.30	111.08	43.75	0.93



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

HEC-RAS Plan: SA River: Deva Reach: Deva (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deva	1462.209	T500	1158.65	240.28	246.48	246.48	247.96	0.004080	5.73	251.00	101.47	0.84
Deva	1462.209	T100	764.71	240.28	246.49	246.49	246.81	0.004645	5.24	164.76	73.33	0.86
Deva	1462.209	T10	551.51	240.28	244.68	244.68	245.95	0.005687	5.03	114.08	53.56	0.93
Deva	1386.863	T500	1158.65	239.21	245.93	245.93	247.16	0.003369	5.52	295.05	120.12	0.75
Deva	1386.863	T100	764.71	239.21	244.56	244.56	245.98	0.005062	5.58	161.82	61.49	0.88
Deva	1386.863	T10	551.51	239.21	244.04	243.87	245.12	0.004472	4.79	131.69	55.92	0.81
Deva	1313.266	T500	1158.65	239.24	245.30	245.30	246.41	0.003612	5.67	349.87	161.50	0.80
Deva	1313.266	T100	764.71	239.24	244.38	244.38	245.52	0.004172	5.35	218.69	109.24	0.83
Deva	1313.266	T10	551.51	239.24	243.83	243.67	244.77	0.003940	4.74	171.11	79.63	0.79
Deva	1157.306	T500	1158.65	238.87	244.41	244.41	245.14	0.002825	4.68	417.11	247.88	0.69
Deva	1157.306	T100	764.71	238.87	243.98	243.98	244.60	0.002412	4.06	311.76	240.43	0.62
Deva	1157.306	T10	551.51	238.87	243.64	243.64	244.22	0.002226	3.69	231.49	228.04	0.59
Deva	1074.798	T500	1158.65	237.98	243.69	243.69	244.41	0.003155	4.82	407.03	235.49	0.71
Deva	1074.798	T100	764.71	237.98	243.32	243.32	243.89	0.002521	4.08	319.70	233.93	0.63
Deva	1074.798	T10	551.51	237.98	243.02	243.02	243.54	0.002270	3.69	249.40	232.66	0.59
Deva	983.1167	T500	1158.65	237.33	243.09	243.09	243.86	0.002783	4.91	407.61	223.16	0.69
Deva	983.1167	T100	764.71	237.33	242.68	242.68	243.30	0.002232	4.16	316.26	220.12	0.61
Deva	983.1167	T10	551.51	237.33	241.57	241.57	242.80	0.004916	5.18	135.87	84.53	0.86
Deva	886.3173	T500	1158.65	236.99	242.64		242.99	0.001222	3.31	520.87	184.25	0.47
Deva	886.3173	T100	764.71	236.99	241.78		242.11	0.001392	3.12	366.96	172.45	0.48
Deva	886.3173	T10	551.51	236.99	241.18		241.50	0.001505	2.94	271.62	149.07	0.49
Deva	777.8726	T500	1158.65	235.90	241.55	241.55	242.70	0.003808	5.85	312.53	120.62	0.82
Deva	777.8726	T100	764.71	235.90	240.83	240.83	241.82	0.003641	5.17	229.52	110.28	0.79
Deva	777.8726	T10	551.51	235.90	240.28	240.28	241.19	0.003706	4.78	172.10	96.93	0.78
Deva	665.6354	T500	1158.65	234.59	241.10		241.52	0.000883	3.14	510.46	125.44	0.41
Deva	665.6354	T100	764.71	234.59	239.97		240.30	0.000867	2.71	372.83	116.73	0.39
Deva	665.6354	T10	551.51	234.59	239.32		239.58	0.000779	2.33	299.53	110.43	0.36



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

HEC-RAS Plan: SA River: Deva Reach: Deva (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deva	557.3661	T500	1158.65	233.51	240.65		241.36	0.001931	4.39	343.09	94.86	0.58
Deva	557.3661	T100	764.71	233.51	239.24		240.09	0.003108	4.63	213.90	87.72	0.70
Deva	557.3661	T10	551.51	233.51	238.34	238.34	239.34	0.004564	4.83	141.57	73.21	0.82
Deva	473.4249	T500	1158.65	233.27	240.40		241.20	0.001638	4.35	353.86	109.28	0.56
Deva	473.4249	T100	764.71	233.27	239.10		239.85	0.001941	4.05	228.60	82.41	0.58
Deva	473.4249	T10	551.51	233.27	238.22		238.87	0.002107	3.70	168.09	58.88	0.59
Deva	411.7729	T500	1158.65	232.69	239.25	239.25	240.96	0.003849	6.50	265.02	83.93	0.85
Deva	411.7729	T100	764.71	232.69	237.99	237.99	239.60	0.004511	6.02	173.07	60.73	0.88
Deva	411.7729	T10	551.51	232.69	237.18	237.18	238.61	0.004877	5.53	128.84	51.27	0.89
Deva	332.198	T500	1158.65	232.06	238.49	238.49	240.17	0.004232	6.40	255.87	80.57	0.86
Deva	332.198	T100	764.71	232.06	237.39	237.39	238.87	0.004612	5.78	174.74	66.84	0.87
Deva	332.198	T10	551.51	232.06	236.62	236.62	237.96	0.005045	5.35	127.90	56.22	0.88
Deva	195.4195	T500	1158.65	231.28	236.80	236.80	237.87	0.003992	5.64	332.56	145.01	0.82
Deva	195.4195	T100	764.71	231.28	236.17	236.17	237.07	0.003658	4.93	245.61	133.03	0.77
Deva	195.4195	T10	551.51	231.28	235.55	235.55	236.50	0.004319	4.81	170.62	104.66	0.81
Deva	67.06352	T500	1158.65	229.83	234.94	234.94	235.85	0.004755	5.39	322.24	153.45	0.86
Deva	67.06352	T100	764.71	229.83	234.47	234.47	235.19	0.004280	4.69	249.84	151.00	0.80
Deva	67.06352	T10	551.51	229.83	234.15	234.15	234.76	0.003886	4.20	202.52	146.39	0.75



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Tabla de Encroachment: Vía de intenso desagüe

HEC-RAS Plan: VID River: Deva Reach: Deva Profile: T100VID

Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Prof Delta WS (m)	E.G. Elev (m)	Top Width Act (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Enc Sta L (m)	Ch Sta L (m)	Ch Sta R (m)	Enc Sta R (m)
Deva	2654.777	T100VID	254.55	0.00	256.86	24.61		764.71		107.39	107.39	132.00	132.00
Deva	2544.479	T100VID	253.87	-0.34	255.54	30.73	2.86	761.00	0.85	135.12	136.31	165.31	165.85
Deva	2445.595	T100VID	254.43	-0.09	255.00	49.31	204.44	554.88	5.39	132.91	155.26	179.27	182.23
Deva	2394.838	T100VID	253.58	-0.48	254.84	40.58	259.77	489.95	14.99	100.24	121.94	136.07	140.82
Deva	2342.945	T100VID	252.79	0.00	254.59	24.05		764.71		0.00	97.32	124.70	189.96
Deva	2339.145BR U	T100VID	252.48	0.00	254.58	22.30		764.71		0.00	97.32	124.70	189.96
Deva	2339.145BR D	T100VID	252.11	0.00	254.54	22.69		764.71		0.00	97.32	124.70	189.96
Deva	2335.345	T100VID	252.40	0.27	254.49	24.05		764.71		0.00	97.32	124.70	189.96
Deva	2266.913	T100VID	252.91	0.25	253.93	29.88	17.22	747.49		69.15	71.58	99.23	186.01
Deva	2187.764	T100VID	251.30	-0.04	253.53	30.92	1.45	733.05	30.20	62.64	63.40	86.16	93.56
Deva	2132.545	T100VID	251.07	0.11	252.75	28.64	0.30	763.68	0.73	77.23	77.53	105.34	105.87
Deva	2015.604	T100VID	250.50	-0.10	252.17	43.31	168.11	594.10	2.50	99.87	117.56	140.98	143.18
Deva	1866.717	T100VID	249.48	0.25	250.83	37.93		764.71		67.47	67.47	105.40	105.40
Deva	1808.227	T100VID	248.76	-0.03	250.47	40.66	28.49	736.77	1.45	55.41	60.66	95.07	96.06
Deva	1784.486	T100VID	248.94	0.10	249.72	46.17		764.71		59.39	59.39	105.56	105.56
Deva	1755.569	T100VID	248.40	0.24	249.59	36.67		764.71		63.69	63.69	100.36	100.36
Deva	1652.426	T100VID	247.72	0.12	249.16	38.27	42.92	719.13	2.66	69.63	76.78	106.32	107.90
Deva	1607.85	T100VID	247.07	-0.08	248.91	37.88	74.67	685.85	4.20	68.92	80.70	104.58	106.80
Deva	1529.402	T100VID	246.13	0.31	248.15	30.21		764.71		109.58	109.58	139.79	139.79
Deva	1462.209	T100VID	245.46	-0.03	247.04	36.35		764.71		121.66	121.66	158.01	158.01
Deva	1386.863	T100VID	244.55	0.00	246.54	32.38	13.23	750.67	0.81	194.45	197.01	226.22	226.83
Deva	1313.266	T100VID	244.27	-0.11	246.00	45.85	52.50	646.88	65.33	224.76	232.47	257.60	270.62
Deva	1157.306	T100VID	243.83	-0.15	244.95	83.99	114.51	649.16	1.04	208.19	258.20	289.13	290.18
Deva	1074.798	T100VID	243.39	0.07	244.30	120.98	192.20	571.46	1.04	129.08	221.63	248.89	250.06
Deva	983.1167	T100VID	242.21	-0.48	243.52	61.55	153.15	608.93	2.63	174.77	209.25	234.73	236.32
Deva	886.3173	T100VID	242.00	0.22	242.59	75.68	185.61	548.28	30.82	77.79	108.63	140.77	153.46
Deva	777.8726	T100VID	240.68	-0.15	242.18	53.12	0.32	587.11	177.28	15.97	16.12	38.87	69.09
Deva	665.6354	T100VID	240.32	0.35	240.75	50.02		764.71		59.76	59.76	109.78	109.78
Deva	557.3661	T100VID	239.37	0.13	240.49	51.86	176.67	586.84	1.20	53.82	79.03	104.48	105.68
Deva	473.4249	T100VID	239.15	0.05	240.19	34.09		764.71		71.42	71.42	105.51	105.51
Deva	411.7729	T100VID	238.10	0.11	239.88	38.37	61.57	690.34	12.81	96.67	109.04	131.82	135.04
Deva	332.198	T100VID	237.33	-0.06	239.43	31.79	36.02	728.03	0.65	124.77	131.19	156.00	156.56
Deva	195.4195	T100VID	236.16	-0.02	237.51	70.44	156.37	605.34	3.01	104.46	147.88	173.19	174.90
Deva	67.06352	T100VID	234.67	0.20	235.67	88.24	277.92	485.22	1.57	85.79	147.54	172.93	174.03



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deva	2654.777	T100	764.71	249.24	254.55	254.55	256.49	0.005407	6.35	143.91	44.11	0.94
Deva	2654.777	T100VID	764.71	249.24	254.55	254.55	256.86	0.007975	6.73	113.63	24.61	1.00
Deva	2544.479	T100	764.71	248.29	254.20		255.29	0.002807	4.84	202.55	56.37	0.70
Deva	2544.479	T100VID	764.71	248.29	253.87	253.39	255.54	0.004336	5.74	137.60	30.73	0.86
Deva	2445.595	T100	764.71	247.41	254.52		254.94	0.000997	3.31	302.73	78.03	0.42
Deva	2445.595	T100VID	764.71	247.41	254.43		255.00	0.001249	3.67	248.32	49.31	0.47
Deva	2394.838	T100	764.71	246.98	254.05	252.91	254.84	0.002166	4.71	228.24	61.12	0.59
Deva	2394.838	T100VID	764.71	246.98	253.58		254.84	0.003519	5.71	174.98	40.58	0.74
Deva	2342.945	T100	764.71	246.91	252.79	252.12	254.59	0.004597	5.93	128.98	32.58	0.82
Deva	2342.945	T100VID	764.71	246.91	252.79	252.12	254.59	0.004599	5.93	128.96	32.57	0.82
Deva	2339.145	Bridge										
Deva	2335.345	T100	764.71	246.91	252.12	252.12	254.47	0.006964	6.78	112.80	27.91	1.00
Deva	2335.345	T100VID	764.71	246.91	252.40	252.12	254.49	0.005841	6.41	119.37	28.24	0.92
Deva	2266.913	T100	764.71	246.28	252.65		253.69	0.002446	4.59	175.54	35.25	0.61
Deva	2266.913	T100VID	764.71	246.28	252.91		253.93	0.002257	4.51	175.01	29.88	0.59
Deva	2187.764	T100	764.71	245.08	251.34	251.34	253.32	0.005419	6.45	143.73	39.89	0.94
Deva	2187.764	T100VID	764.71	245.08	251.30	251.30	253.53	0.005969	6.74	128.65	30.92	0.98
Deva	2132.545	T100	764.71	245.54	250.96	250.59	252.54	0.004294	5.67	151.82	47.98	0.84
Deva	2132.545	T100VID	764.71	245.54	251.07		252.75	0.004268	5.74	135.27	28.64	0.84
Deva	2015.604	T100	764.71	245.79	250.60	250.60	251.94	0.004971	5.73	173.07	71.03	0.89
Deva	2015.604	T100VID	764.71	245.79	250.50	250.50	252.17	0.005966	6.17	143.16	43.31	0.97
Deva	1866.717	T100	764.71	244.24	249.23	249.23	250.72	0.005340	5.43	147.82	65.06	0.91
Deva	1866.717	T100VID	764.71	244.24	249.48	249.01	250.83	0.004674	5.14	148.70	37.93	0.83
Deva	1808.227	T100	764.71	244.28	248.80	248.80	250.27	0.005777	5.56	152.49	55.33	0.93
Deva	1808.227	T100VID	764.71	244.28	248.76	248.76	250.47	0.006544	5.88	136.44	40.66	0.98
Deva	1784.486	T100	764.71	244.21	248.84		249.52	0.002072	3.74	228.22	78.83	0.59
Deva	1784.486	T100VID	764.71	244.21	248.94		249.72	0.002487	3.90	196.02	46.17	0.60
Deva	1755.569	T100	764.71	243.30	248.16	247.72	249.38	0.003818	4.95	168.37	61.85	0.78
Deva	1755.569	T100VID	764.71	243.30	248.40		249.59	0.003744	4.82	158.77	36.67	0.74
Deva	1652.426	T100	764.71	242.11	247.60	247.50	248.95	0.004164	5.38	167.53	64.86	0.82
Deva	1652.426	T100VID	764.71	242.11	247.72		249.16	0.004098	5.44	151.39	38.27	0.82
Deva	1607.85	T100	764.71	241.47	247.15	247.15	248.73	0.004730	5.90	153.83	50.39	0.87
Deva	1607.85	T100VID	764.71	241.47	247.07	247.07	248.91	0.005438	6.25	137.57	37.88	0.93
Deva	1529.402	T100	764.71	240.91	245.82	245.82	247.91	0.007664	6.53	127.36	46.19	1.08
Deva	1529.402	T100VID	764.71	240.91	246.13	246.13	248.15	0.007335	6.29	121.51	30.21	1.00
Deva	1462.209	T100	764.71	240.28	245.49	245.49	246.81	0.004645	5.24	164.76	73.33	0.86
Deva	1462.209	T100VID	764.71	240.28	245.46	245.25	247.04	0.005897	5.58	137.01	36.35	0.92
Deva	1386.863	T100	764.71	239.21	244.56	244.56	245.98	0.005062	5.58	161.82	61.49	0.88
Deva	1386.863	T100VID	764.71	239.21	244.55	244.54	246.54	0.006430	6.29	125.85	32.38	0.99
Deva	1313.266	T100	764.71	239.24	244.38	244.38	245.52	0.004172	5.35	218.69	109.24	0.83
Deva	1313.266	T100VID	764.71	239.24	244.27	244.27	246.00	0.005867	6.23	155.21	45.85	0.98
Deva	1157.306	T100	764.71	238.87	243.98	243.98	244.60	0.002412	4.06	311.76	240.43	0.62
Deva	1157.306	T100VID	764.71	238.87	243.83	243.83	244.95	0.003885	5.03	190.07	83.99	0.79
Deva	1074.798	T100	764.71	237.98	243.32	243.32	243.89	0.002521	4.08	319.70	233.93	0.63
Deva	1074.798	T100VID	764.71	237.98	243.39	243.39	244.30	0.003341	4.75	228.60	120.98	0.72
Deva	983.1167	T100	764.71	237.33	242.68	242.68	243.30	0.002232	4.16	316.26	220.12	0.61
Deva	983.1167	T100VID	764.71	237.33	242.21	242.21	243.52	0.004543	5.54	170.55	61.55	0.85
Deva	886.3173	T100	764.71	236.99	241.78		242.11	0.001392	3.12	366.96	172.45	0.48
Deva	886.3173	T100VID	764.71	236.99	242.00		242.59	0.001918	3.79	255.42	75.68	0.57
Deva	777.8726	T100	764.71	235.90	240.83	240.83	241.82	0.003641	5.17	229.52	110.28	0.79
Deva	777.8726	T100VID	764.71	235.90	240.68	240.68	242.18	0.005188	6.04	167.80	53.12	0.93
Deva	665.6354	T100	764.71	234.59	239.97		240.30	0.000867	2.71	372.83	116.73	0.39
Deva	665.6354	T100VID	764.71	234.59	240.32		240.75	0.001073	2.91	263.01	50.02	0.40



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Deva	557.3661	T100	764.71	233.51	239.24		240.09	0.003108	4.63	213.90	87.72	0.70
Deva	557.3661	T100VID	764.71	233.51	239.37		240.49	0.003544	5.04	173.82	51.86	0.75
Deva	473.4249	T100	764.71	233.27	239.10		239.85	0.001941	4.05	228.60	82.41	0.58
Deva	473.4249	T100VID	764.71	233.27	239.15		240.19	0.003027	4.51	169.43	34.09	0.65
Deva	411.7729	T100	764.71	232.69	237.99	237.99	239.60	0.004511	6.02	173.07	60.73	0.88
Deva	411.7729	T100VID	764.71	232.69	238.10	237.83	239.88	0.004645	6.20	155.74	38.37	0.90
Deva	332.198	T100	764.71	232.06	237.39	237.39	238.87	0.004612	5.78	174.74	66.84	0.87
Deva	332.198	T100VID	764.71	232.06	237.33	237.33	239.43	0.006020	6.55	127.34	31.79	0.99
Deva	195.4195	T100	764.71	231.28	236.17	236.17	237.07	0.003658	4.93	245.61	133.03	0.77
Deva	195.4195	T100VID	764.71	231.28	236.16	236.16	237.51	0.004940	5.71	189.27	70.44	0.89
Deva	67.06352	T100	764.71	229.83	234.47	234.47	235.19	0.004247	4.68	250.54	151.06	0.80
Deva	67.06352	T100VID	764.71	229.83	234.67	234.67	235.67	0.004848	5.19	199.25	88.24	0.86

br



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

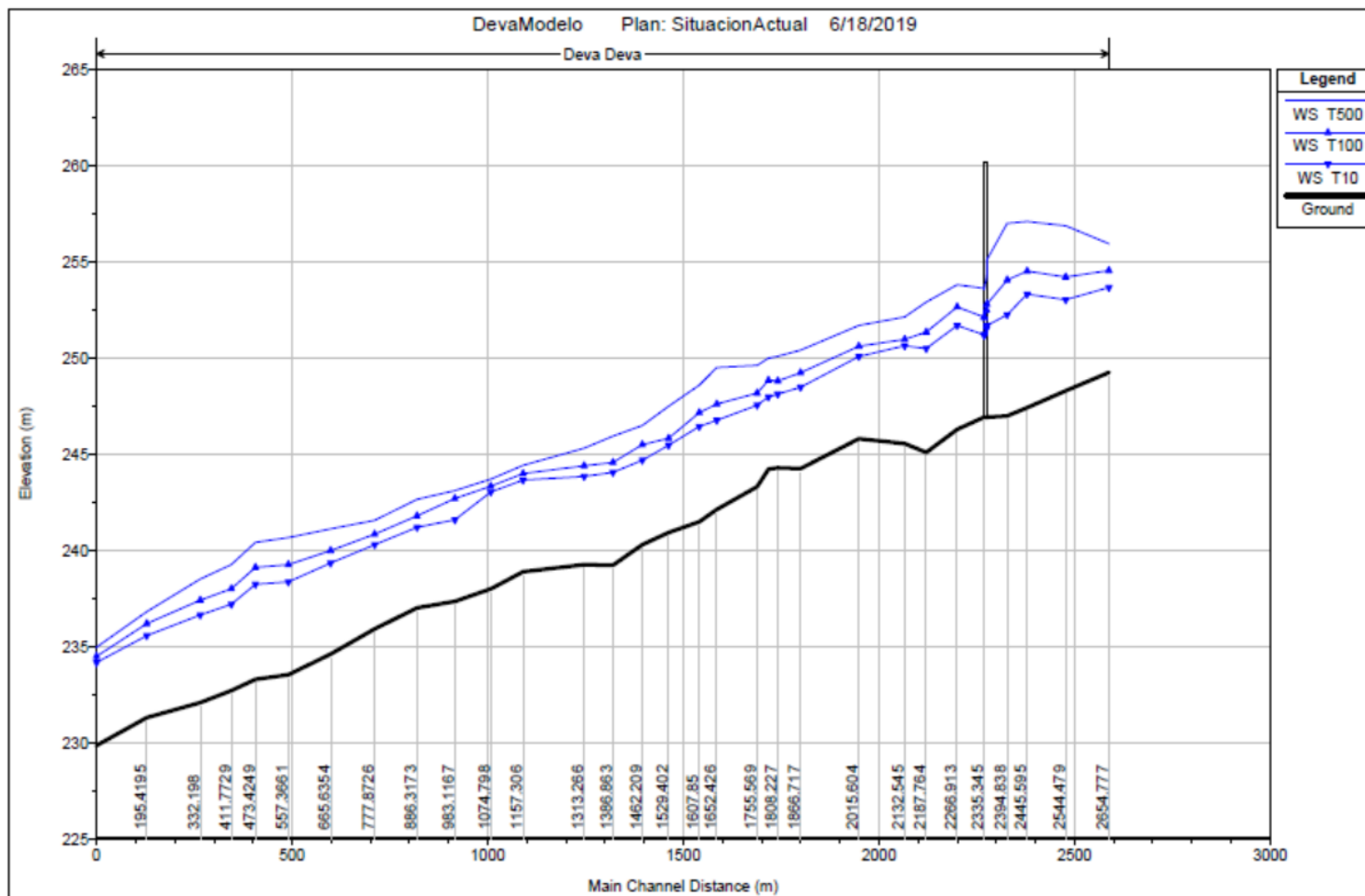


V. Anejo de perfiles longitudinales



Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

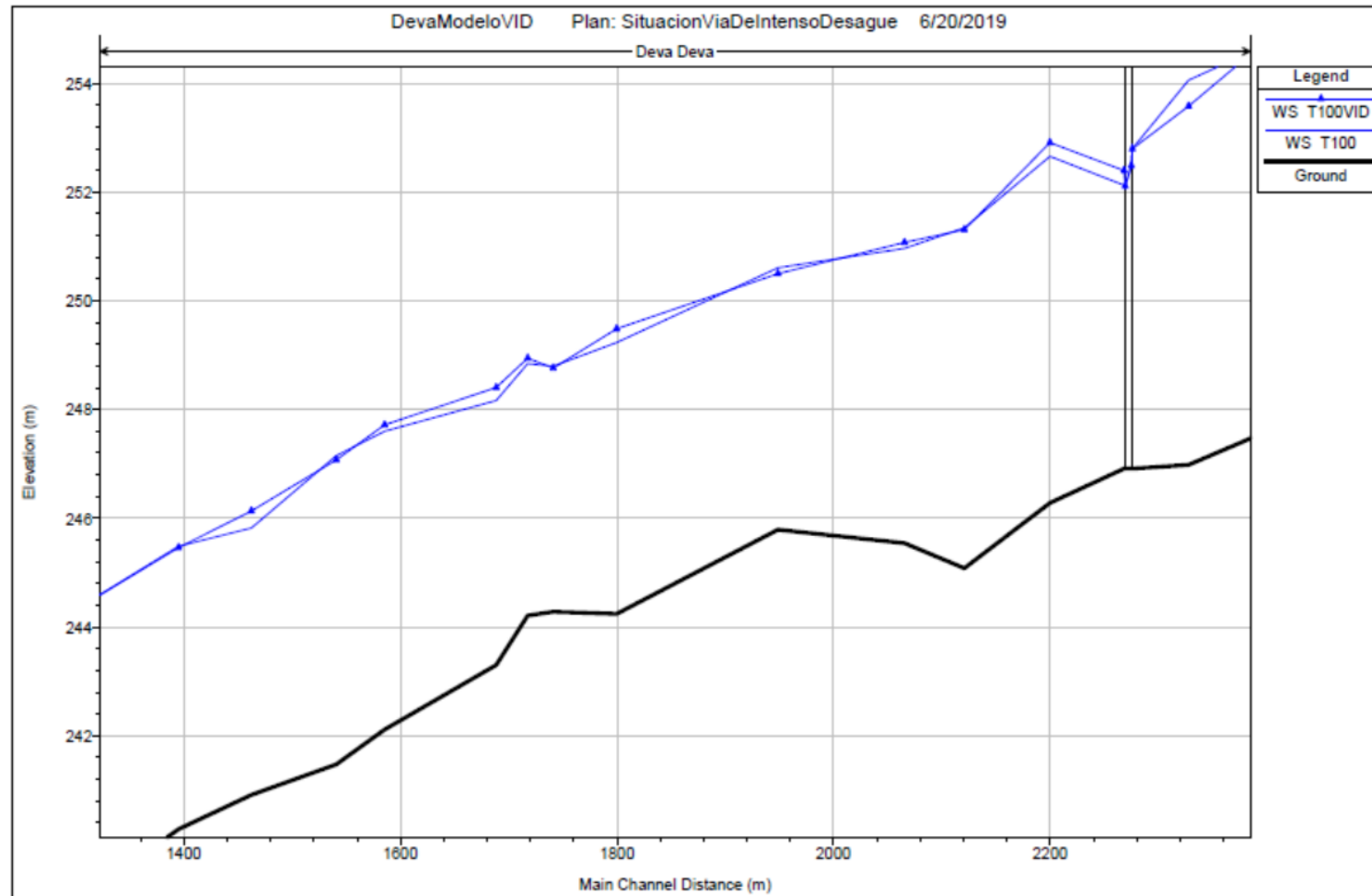
Perfil Longitudinal Situación Natural





Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique

Perfil Longitudinal Situación Vía Intenso Desagüe



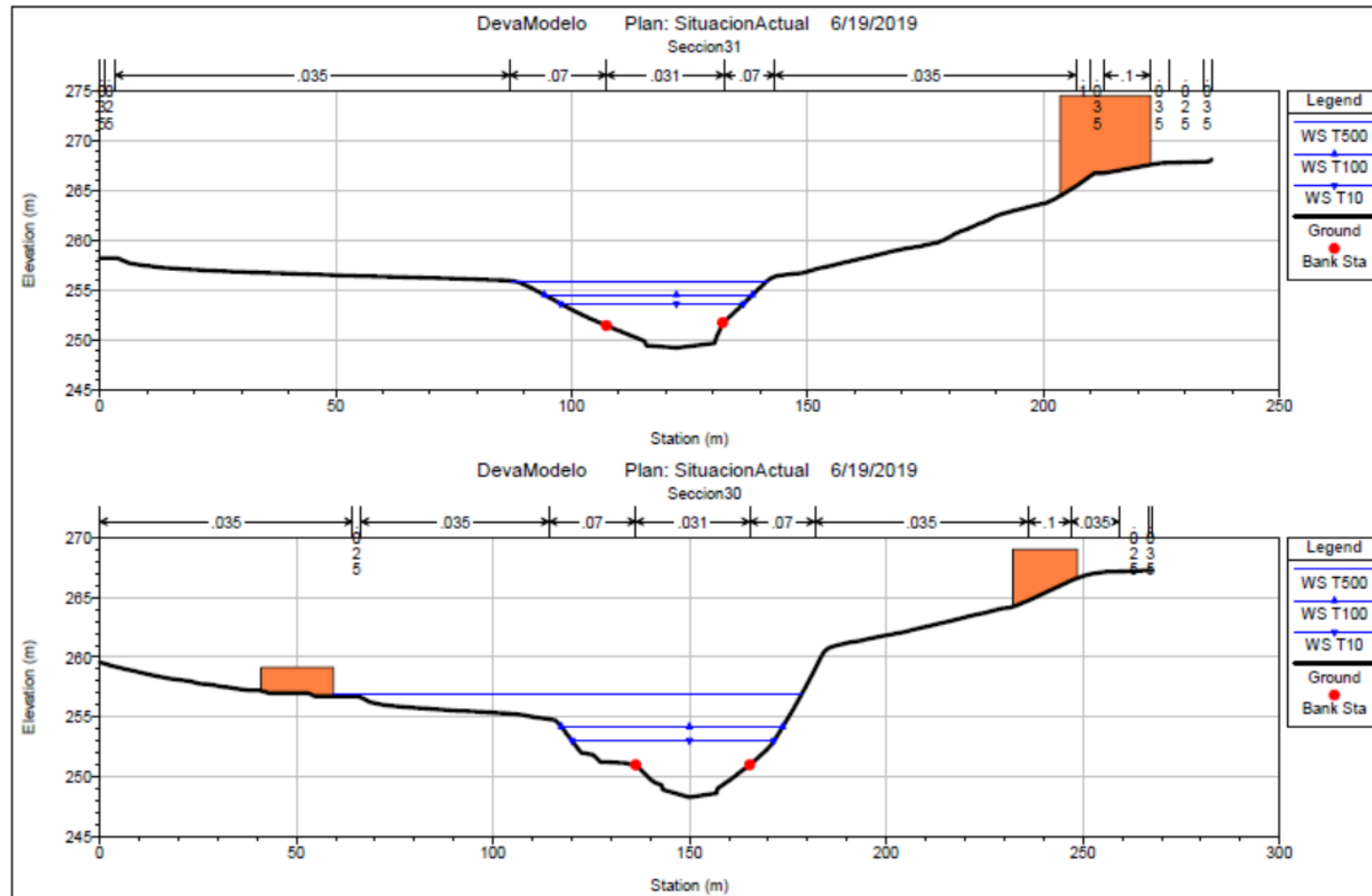


VI. Anejo de Secciones transversales



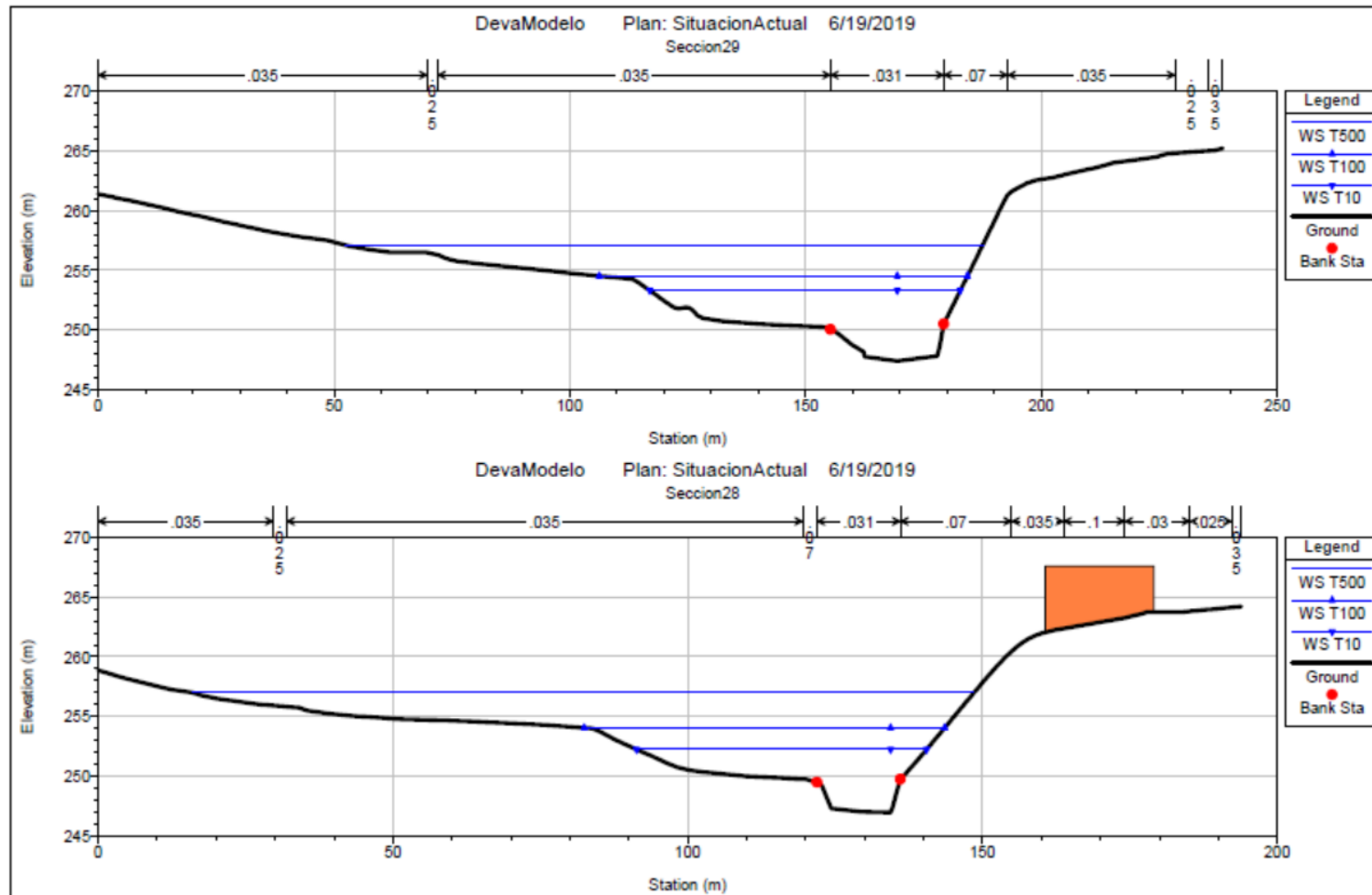
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Perfiles Situación Natural



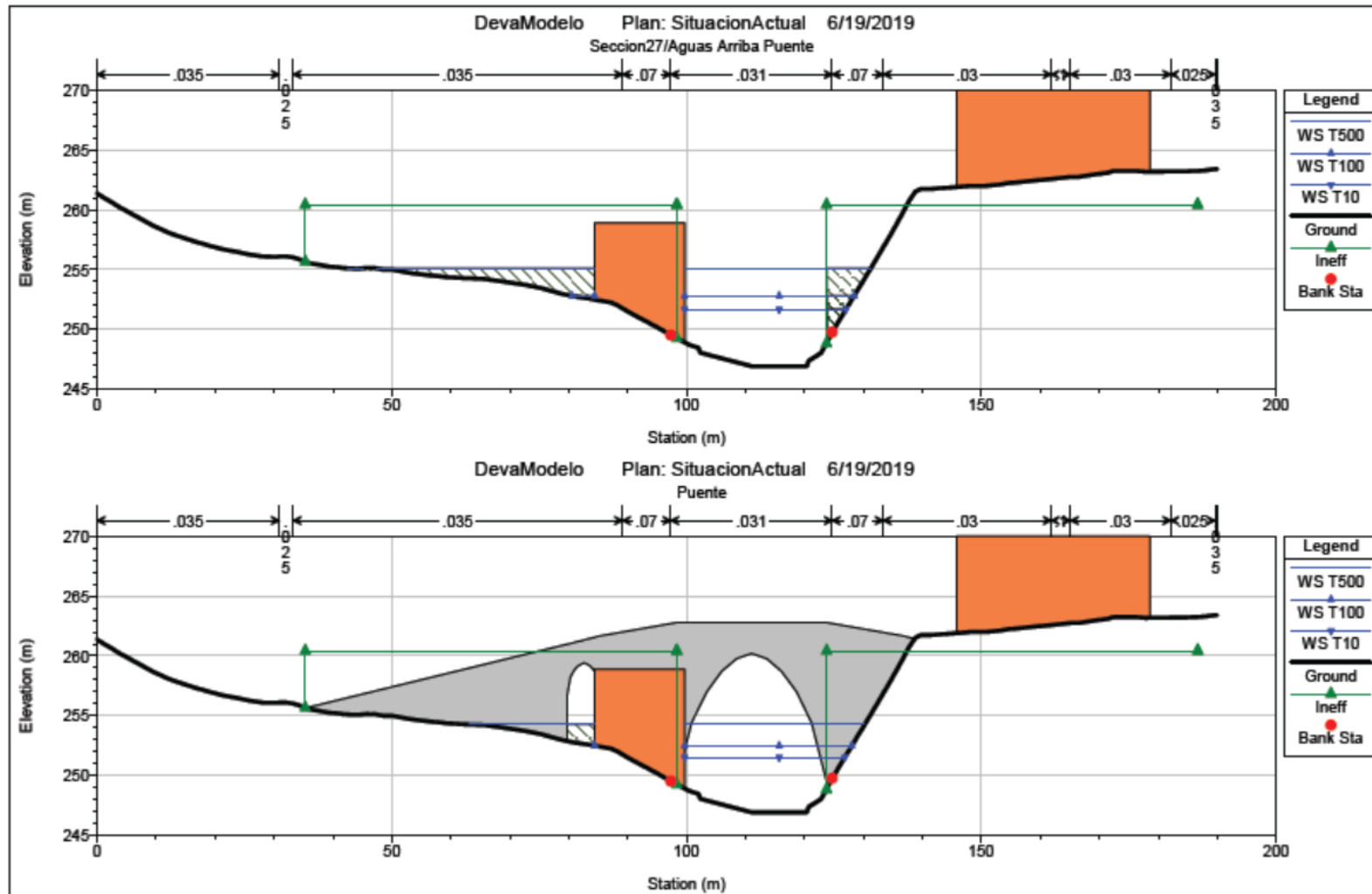


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



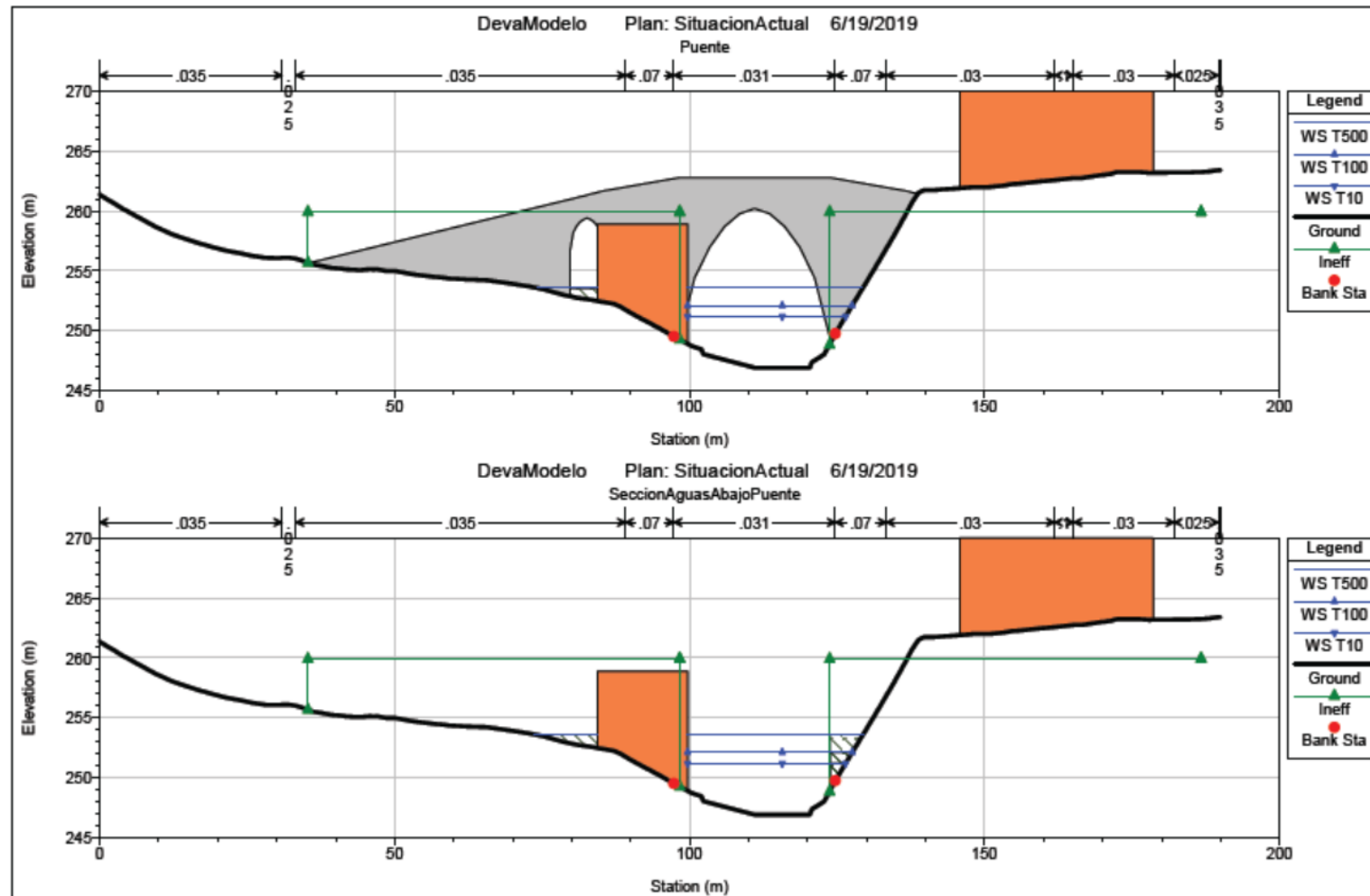


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



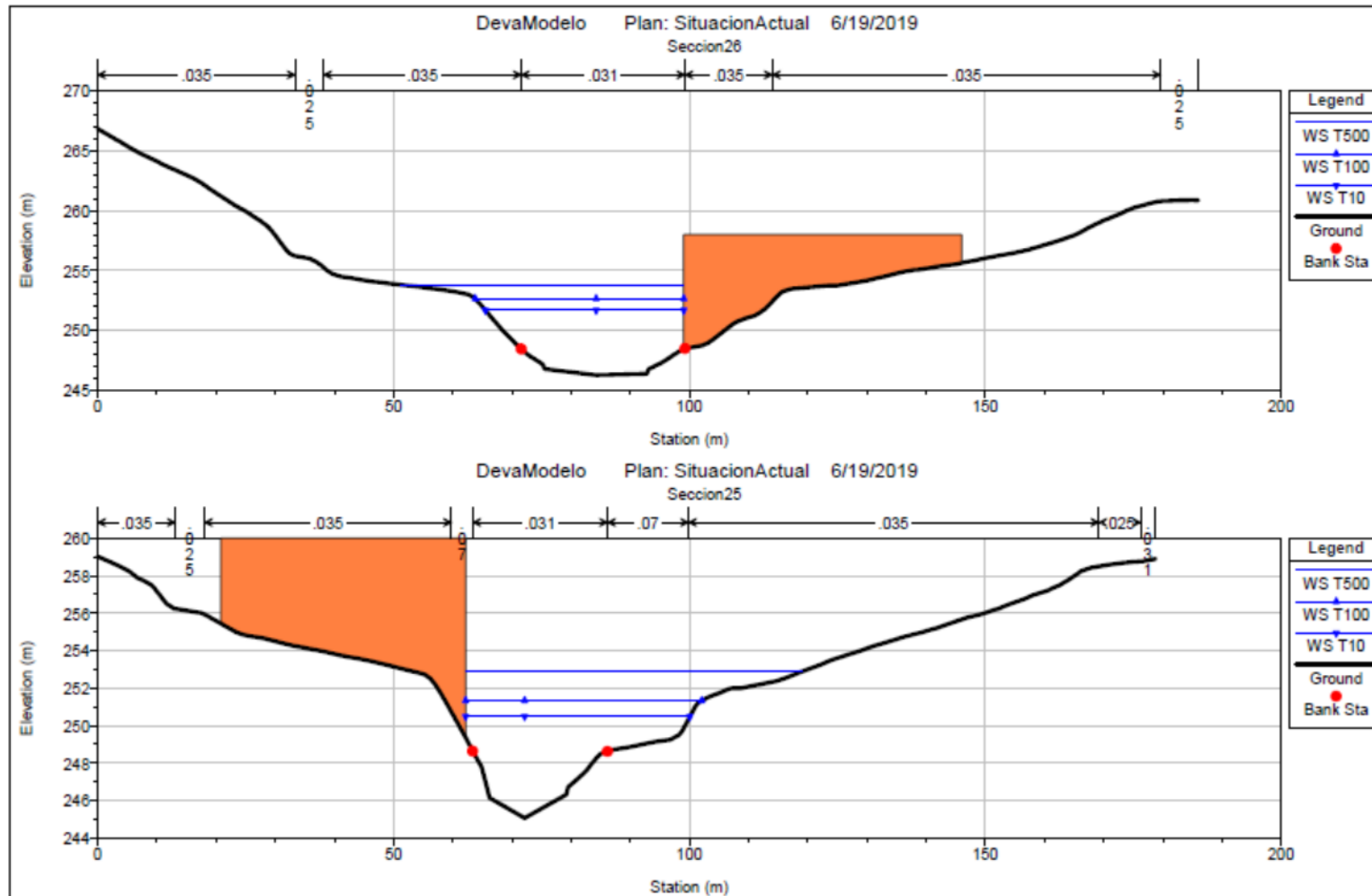


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



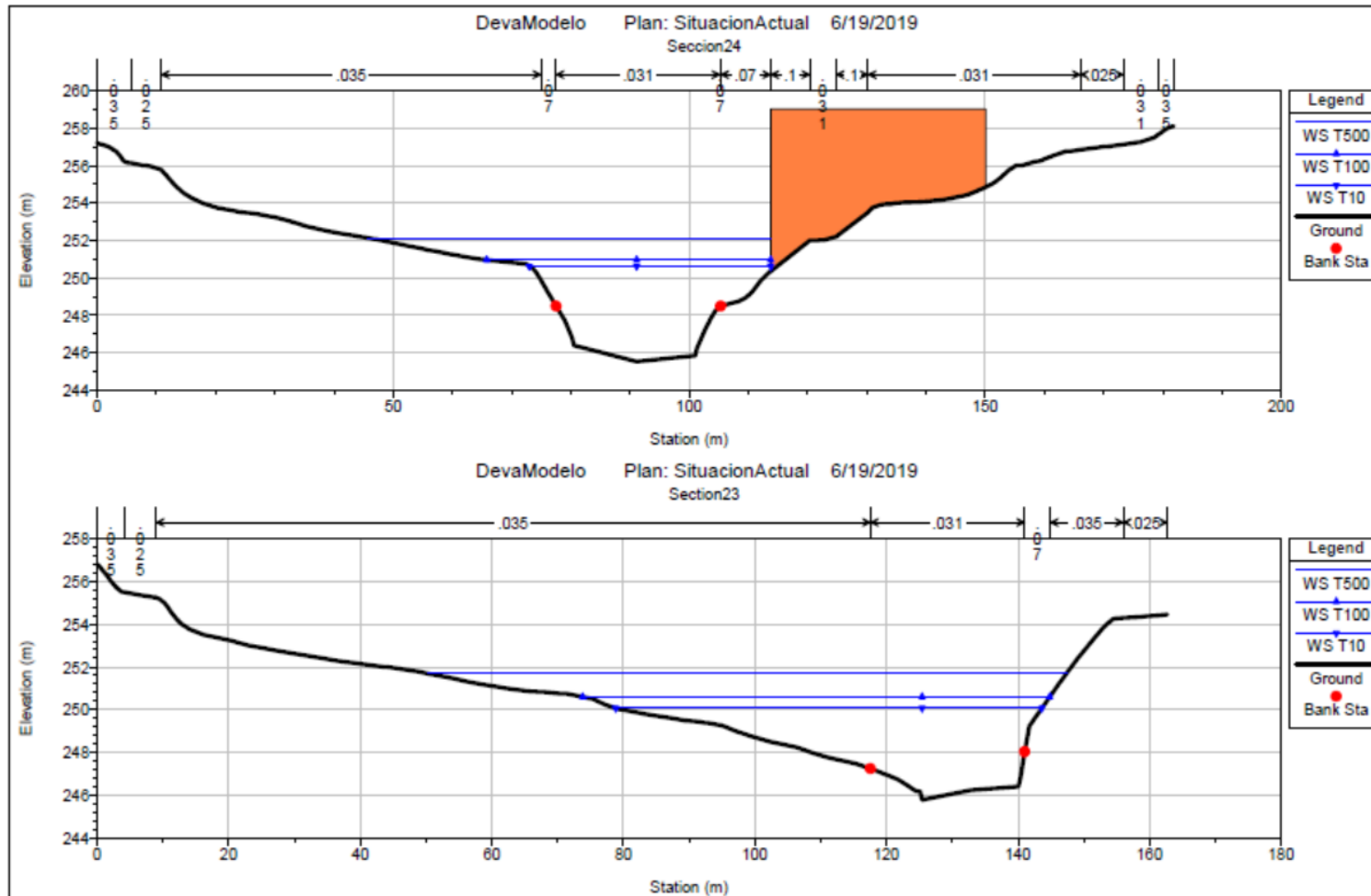


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



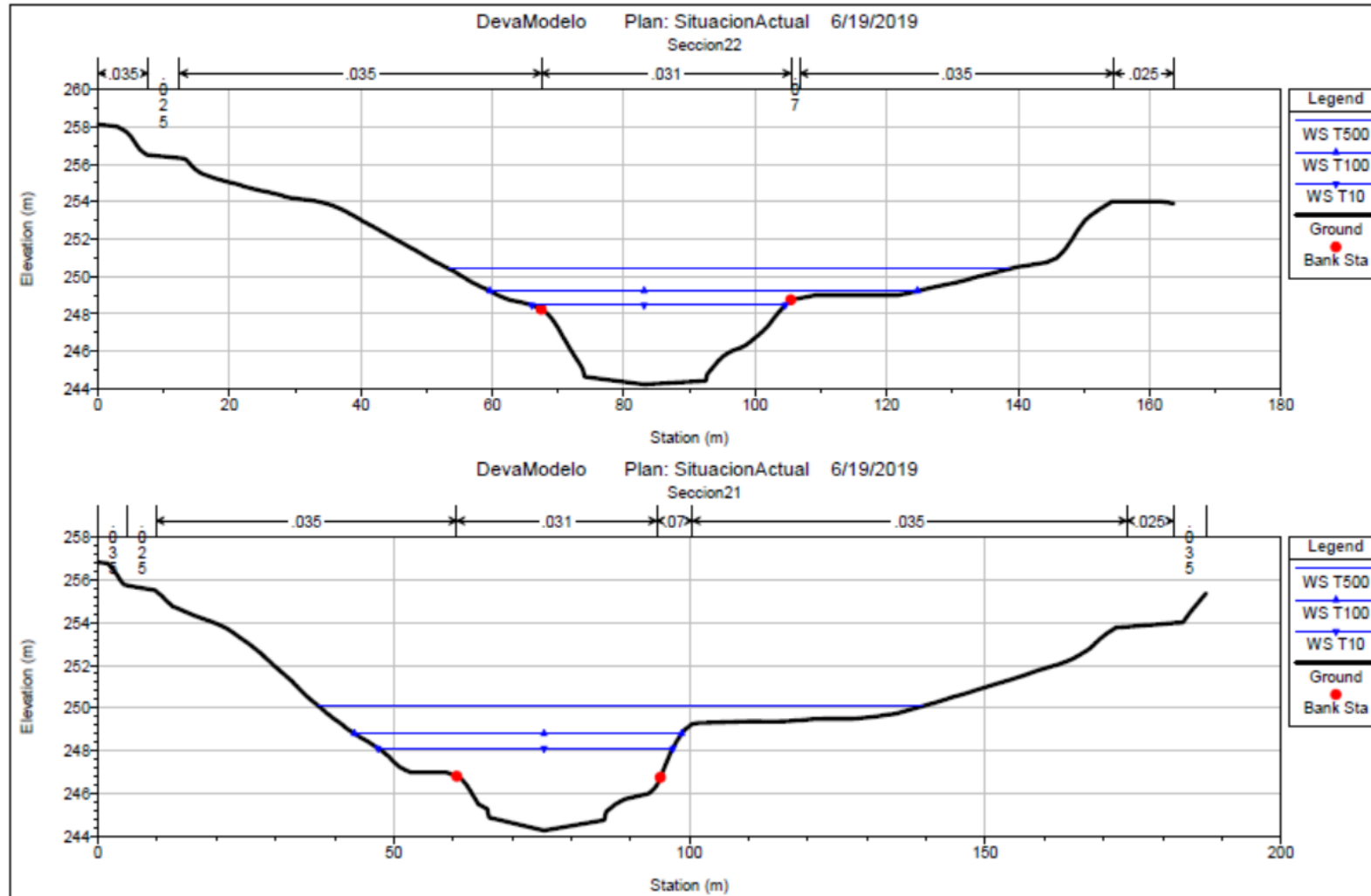


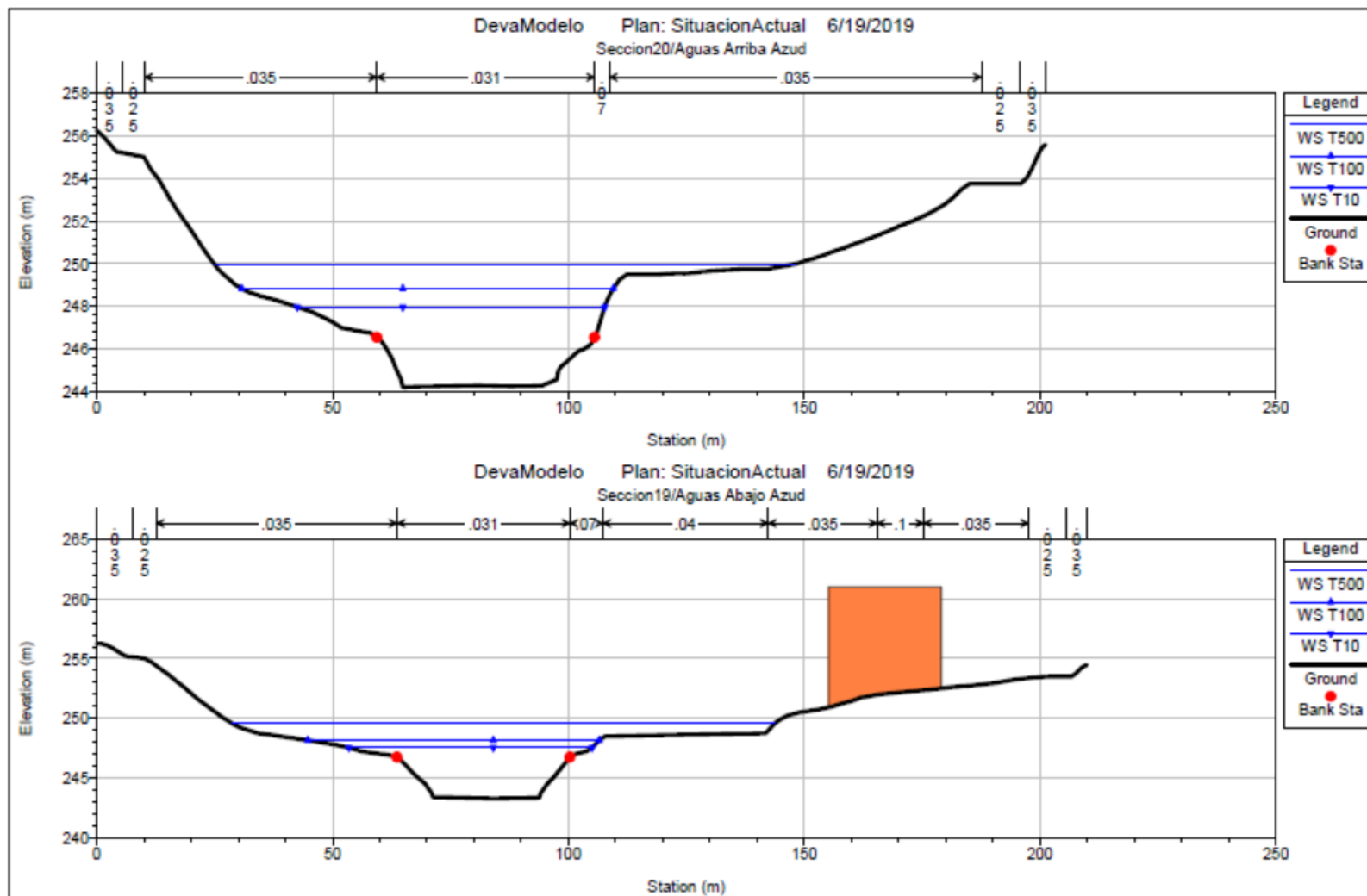
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





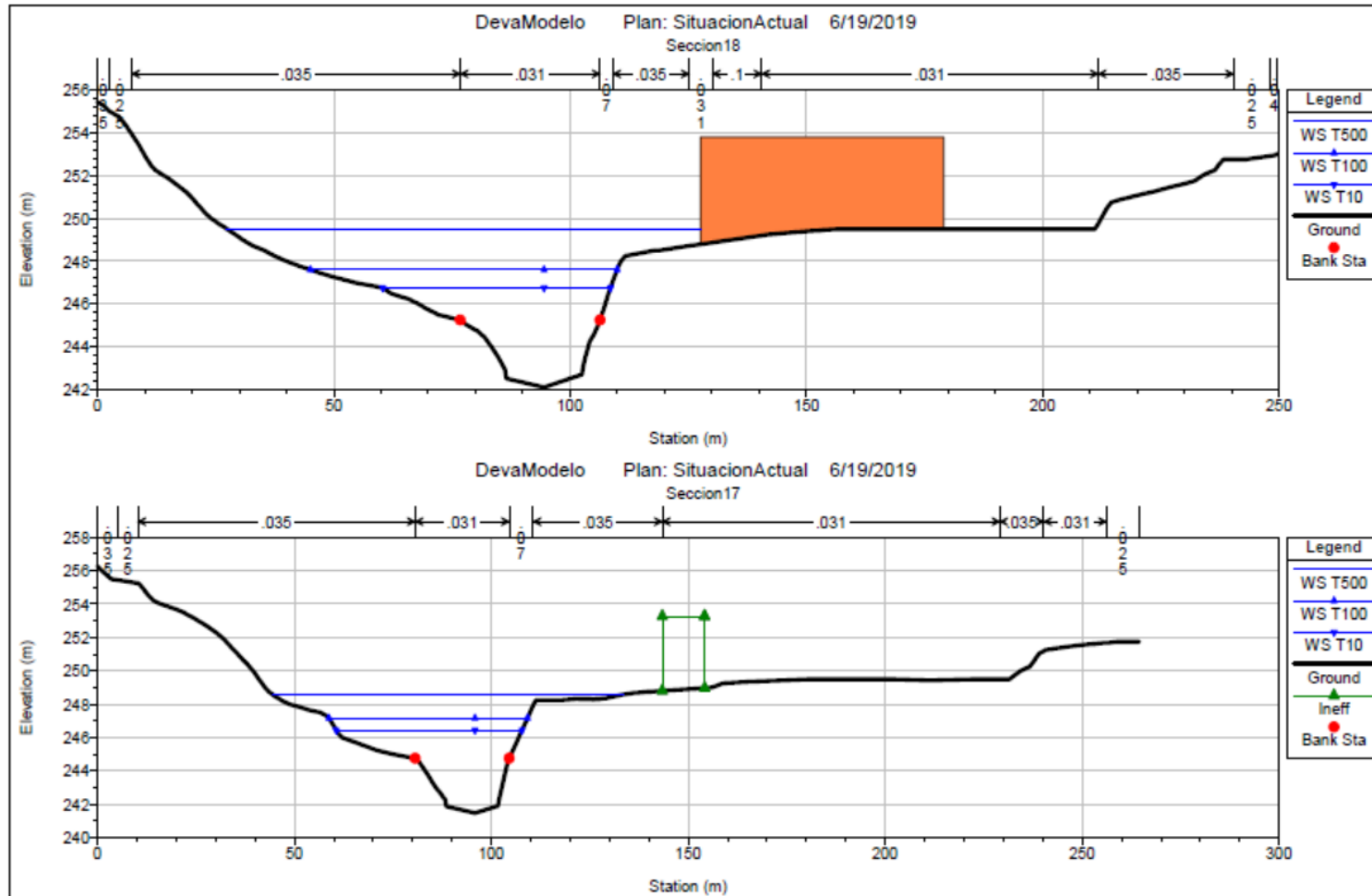
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





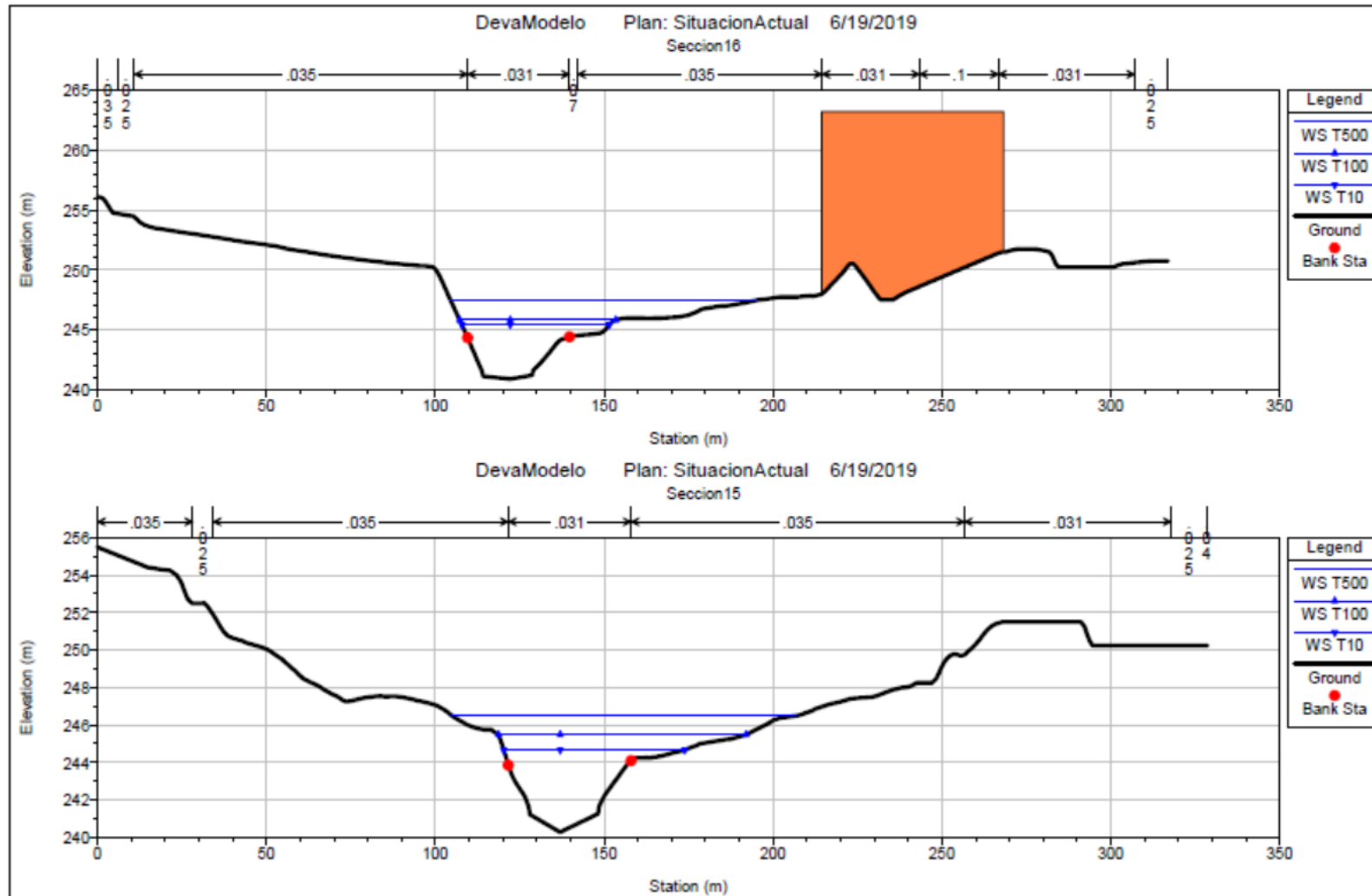


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



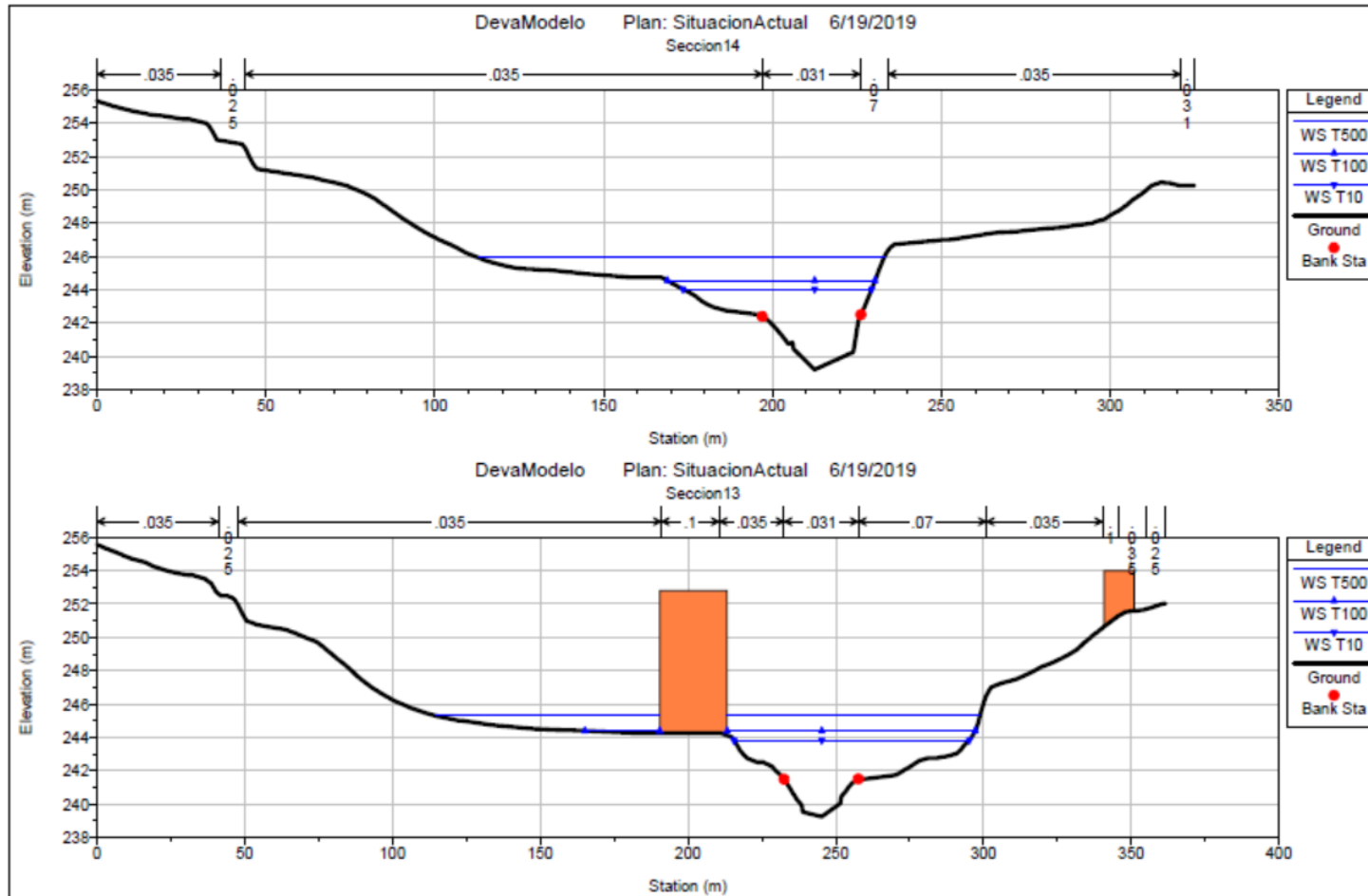


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



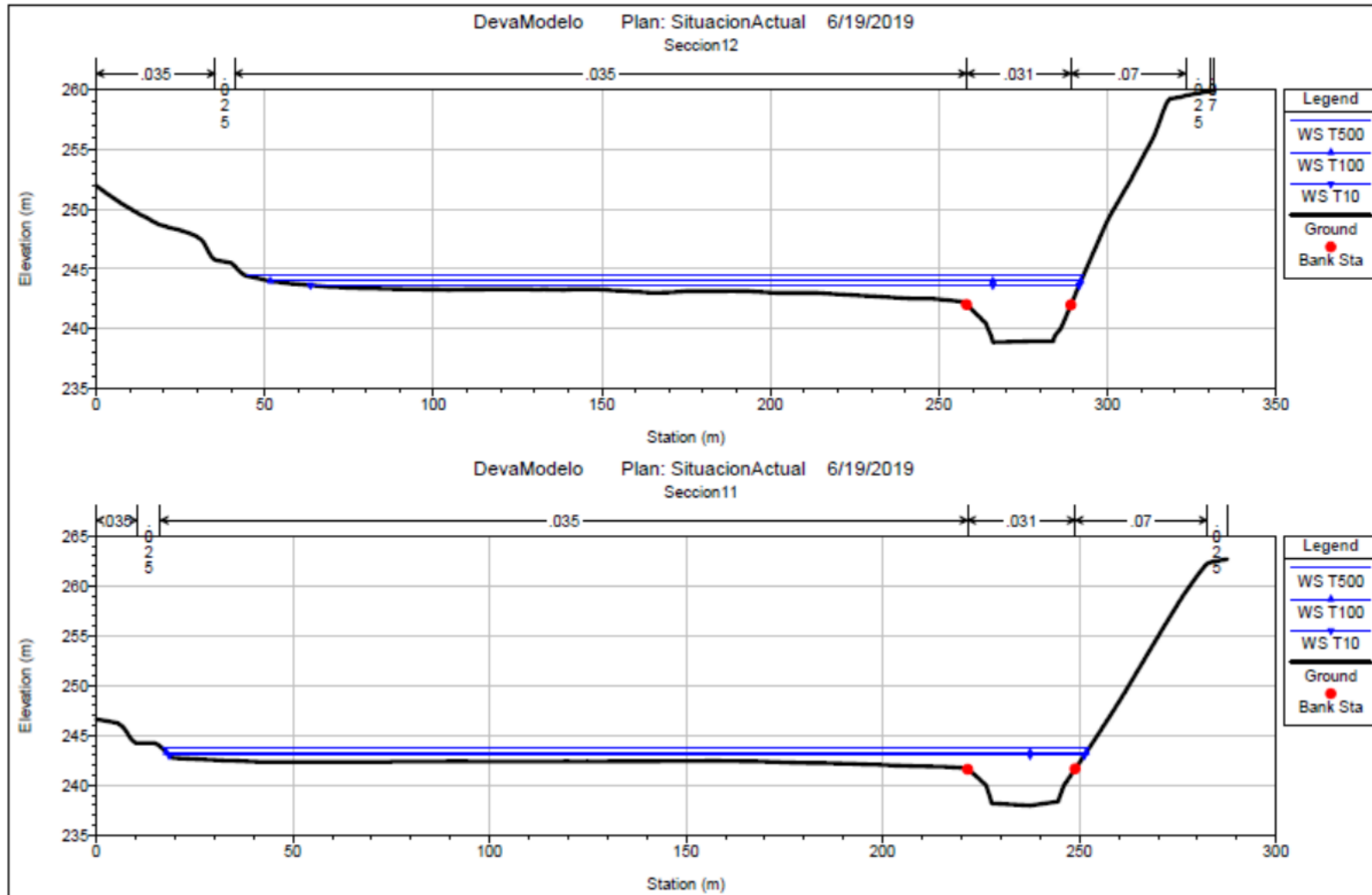


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



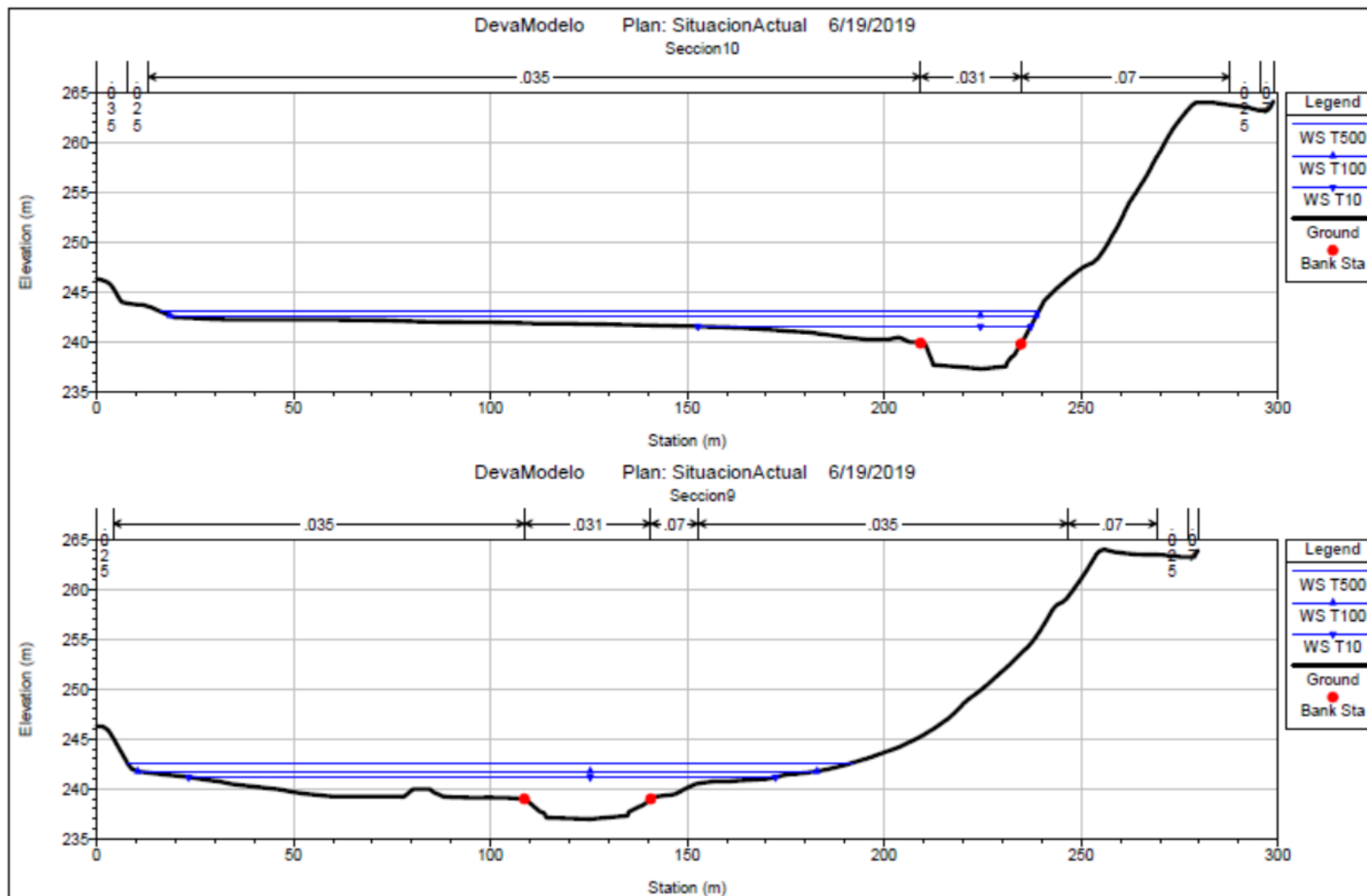


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



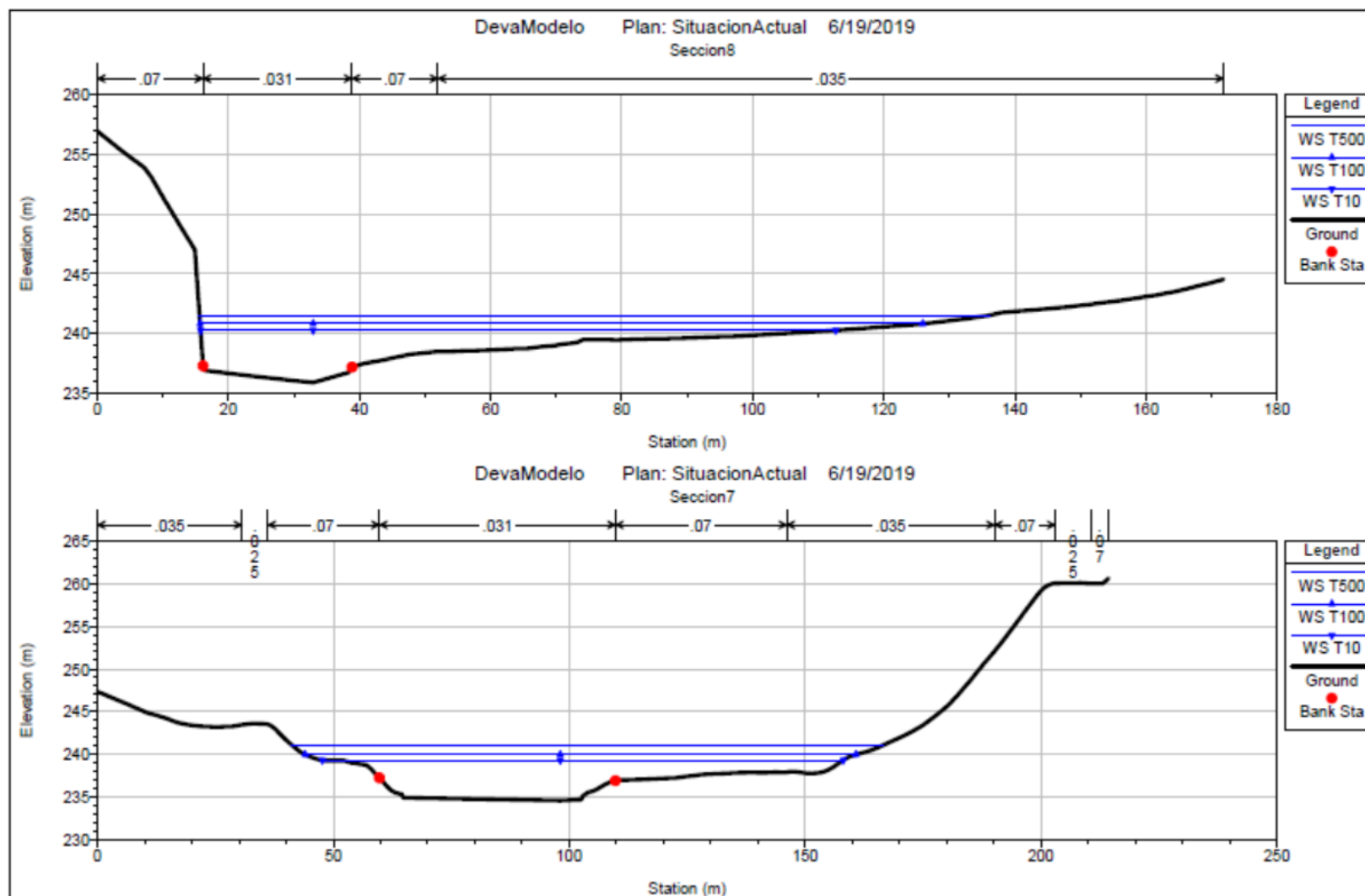


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



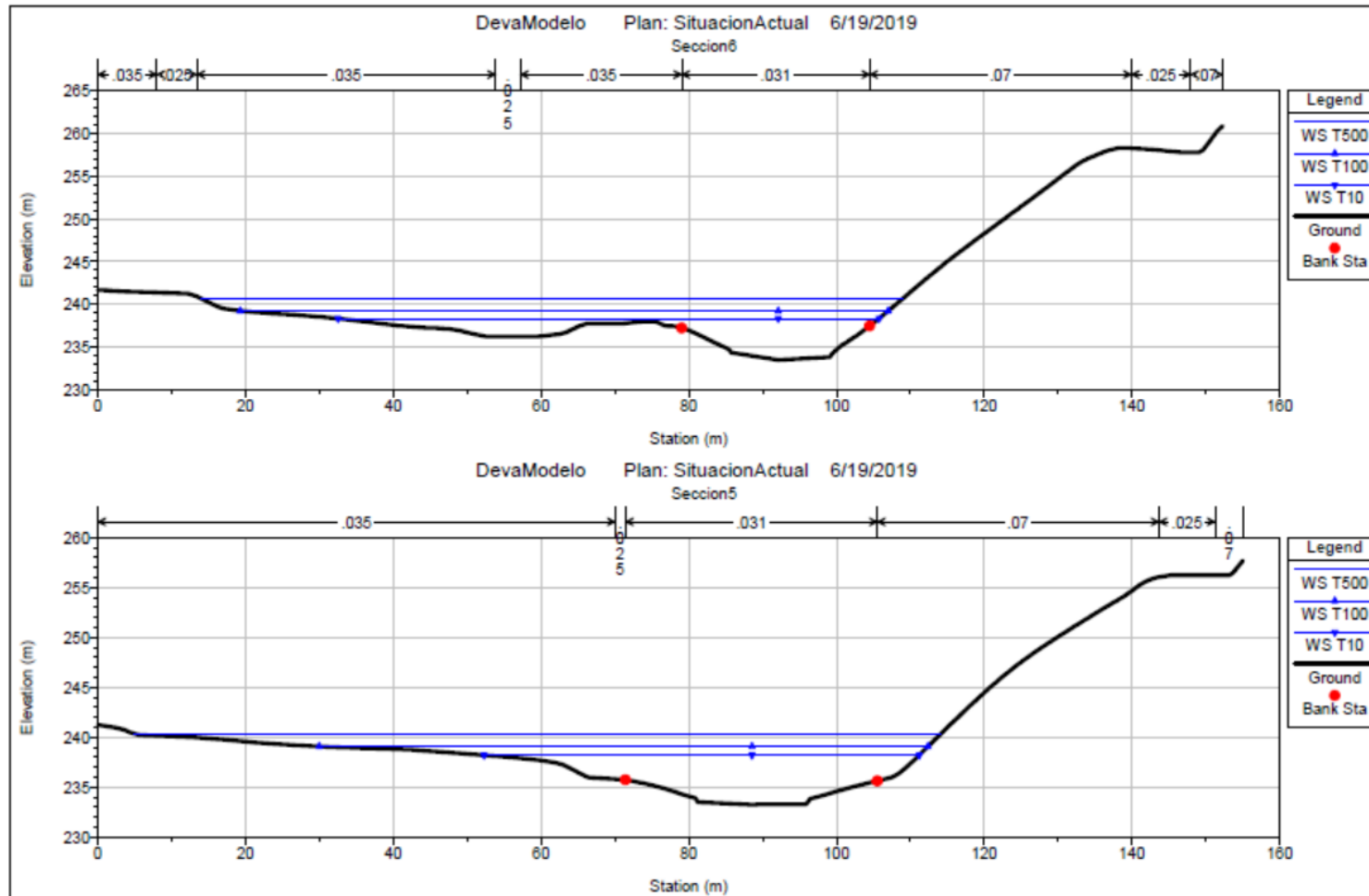


Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique



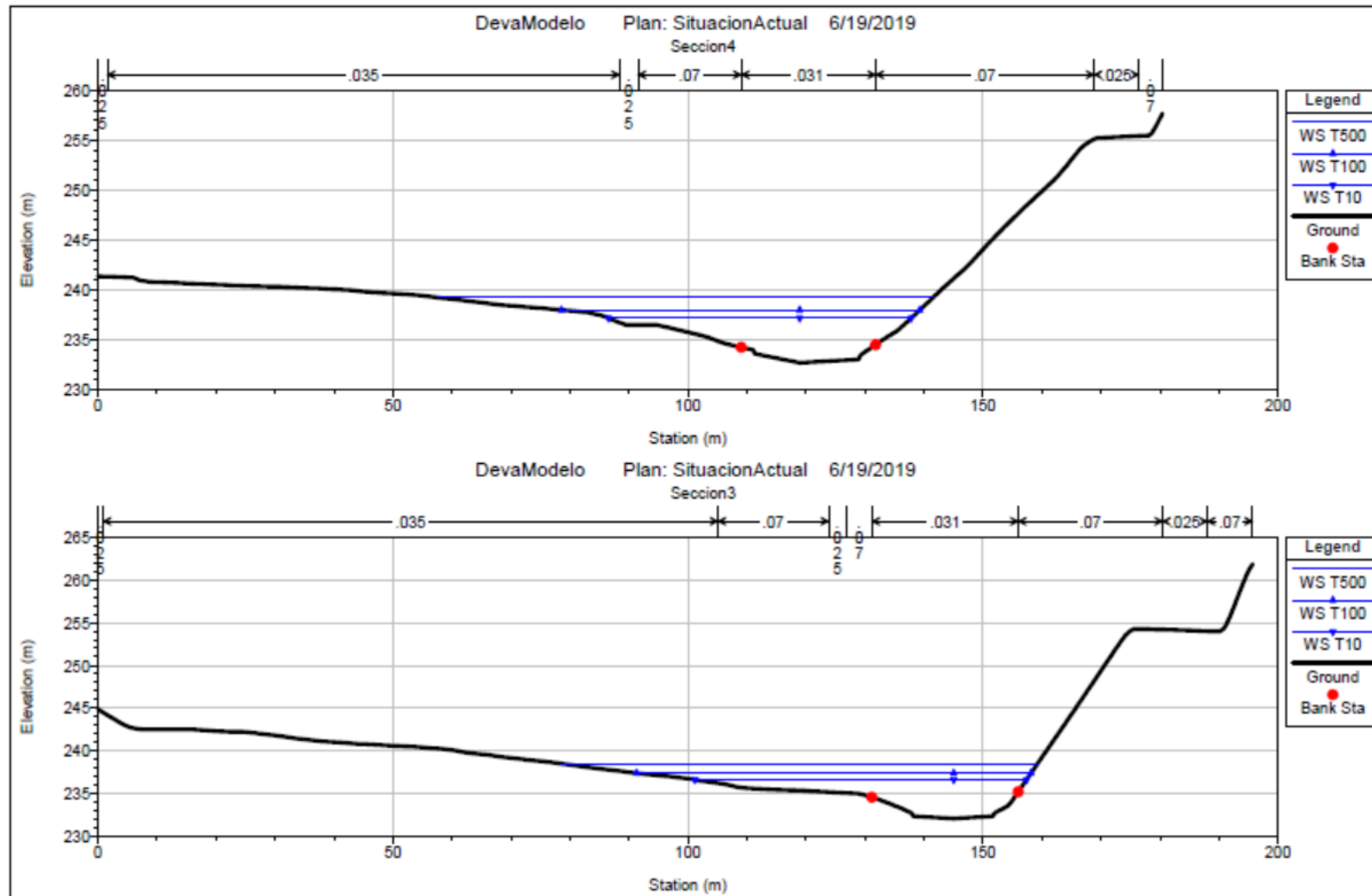


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



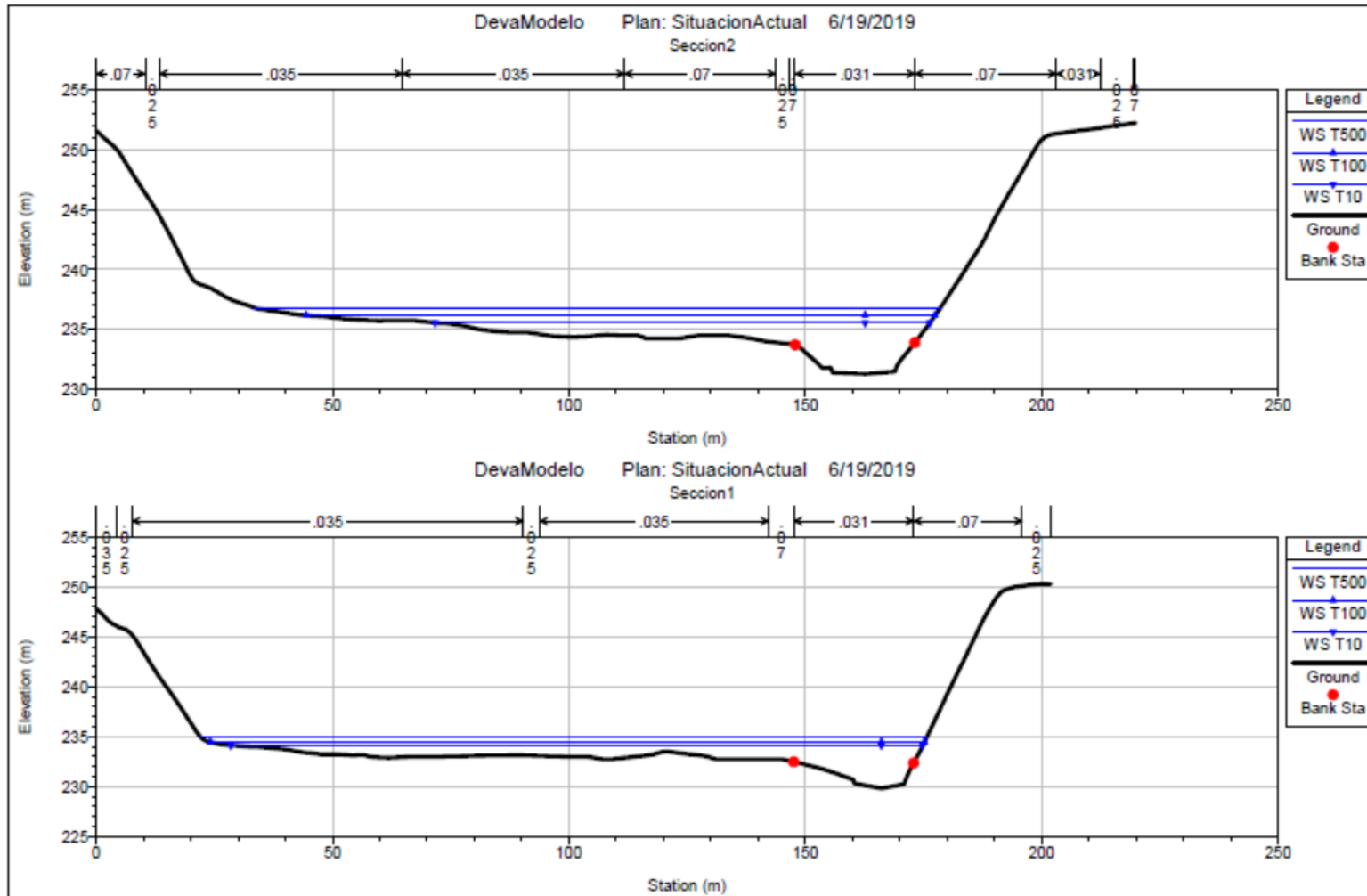


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





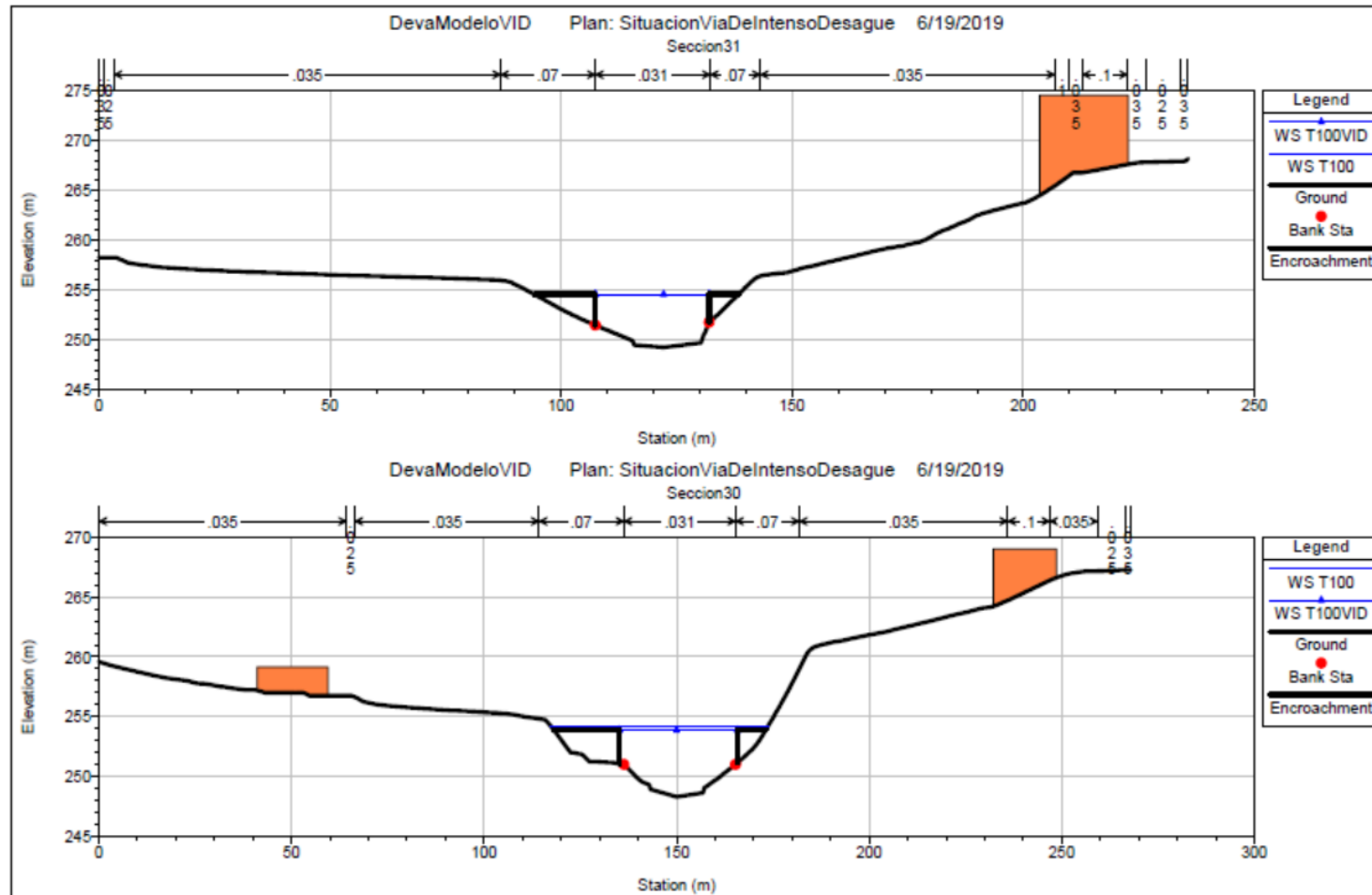
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





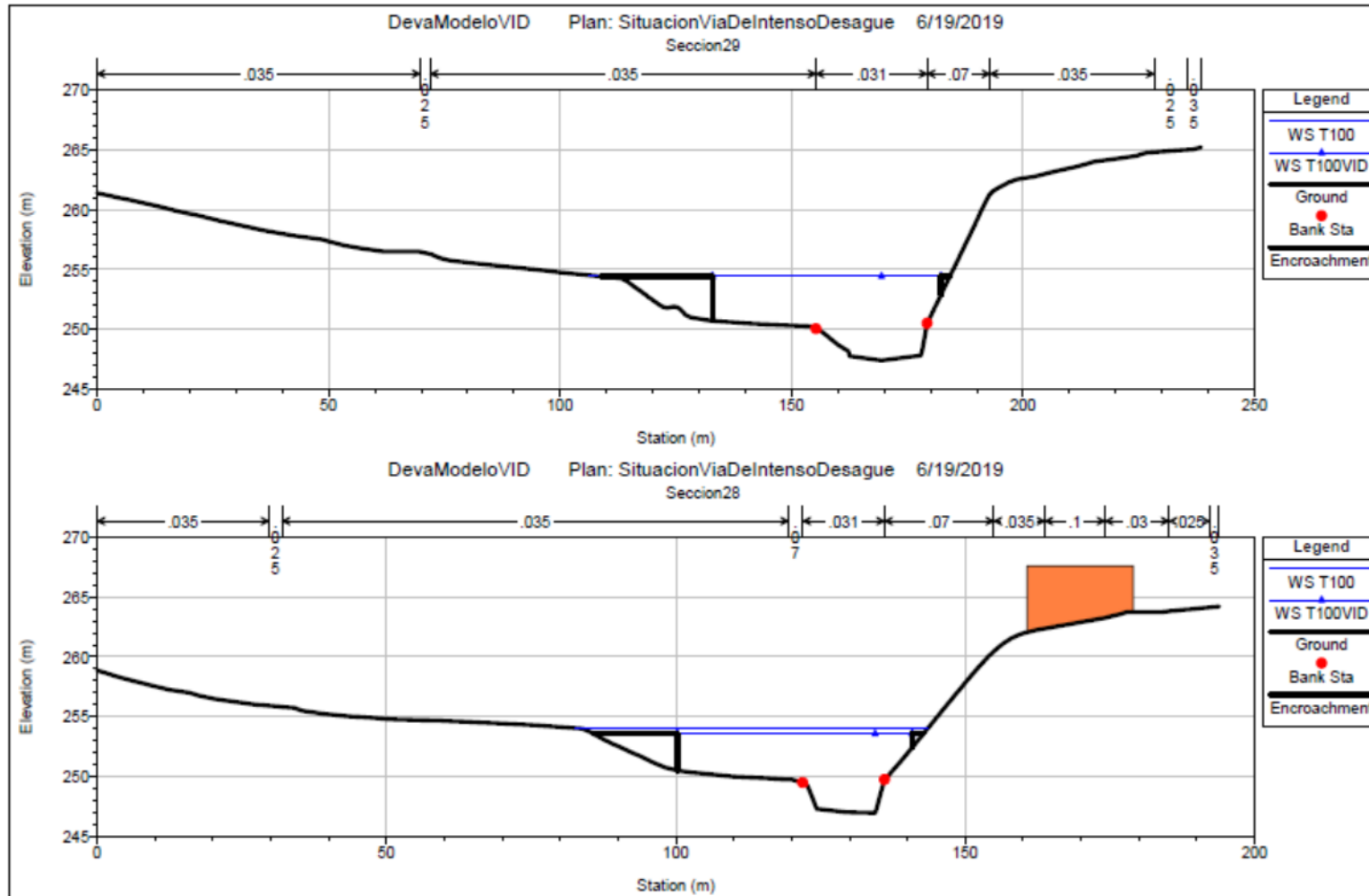
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Perfiles Transversales Vía Intenso Desagüe



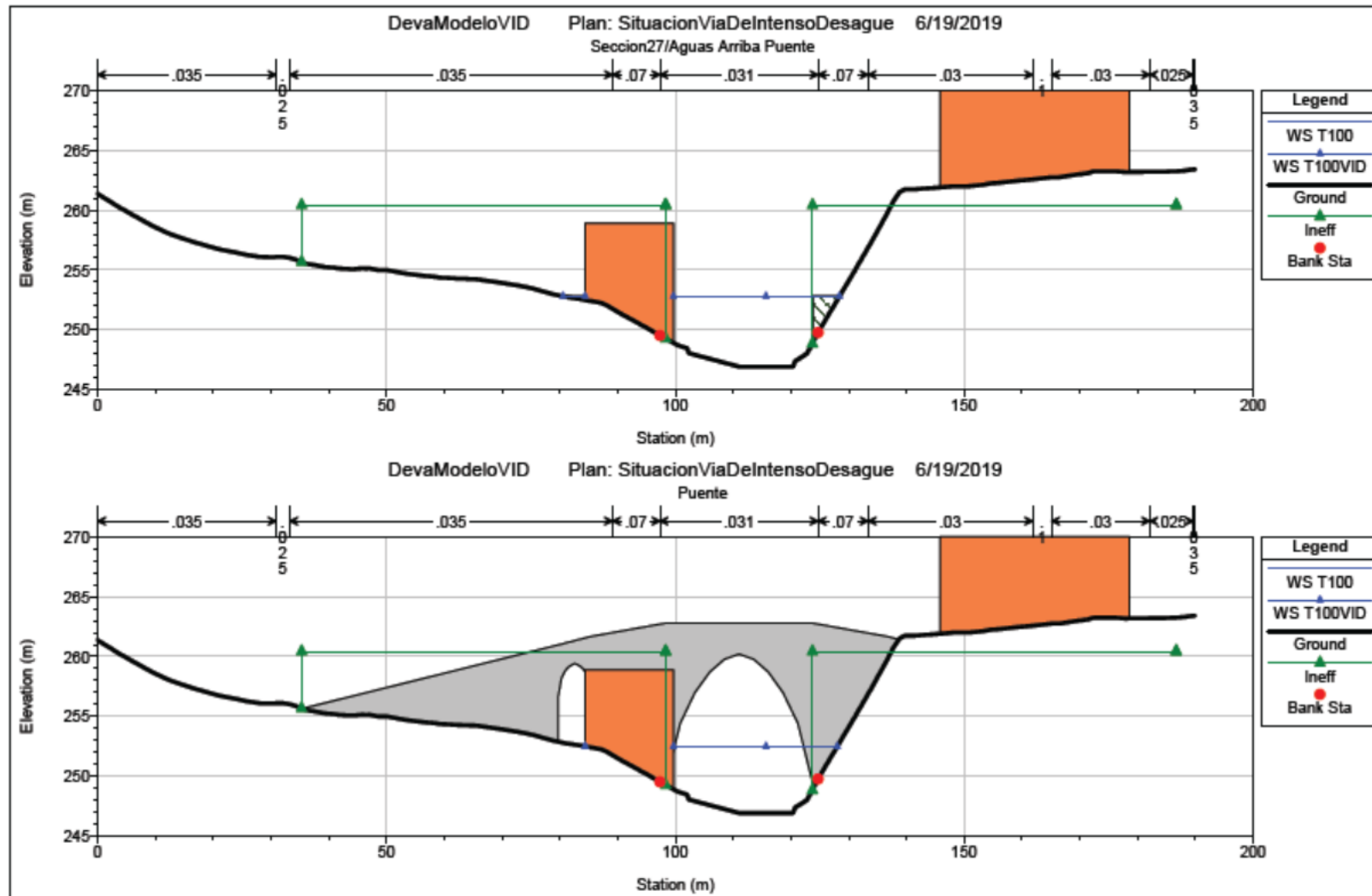


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



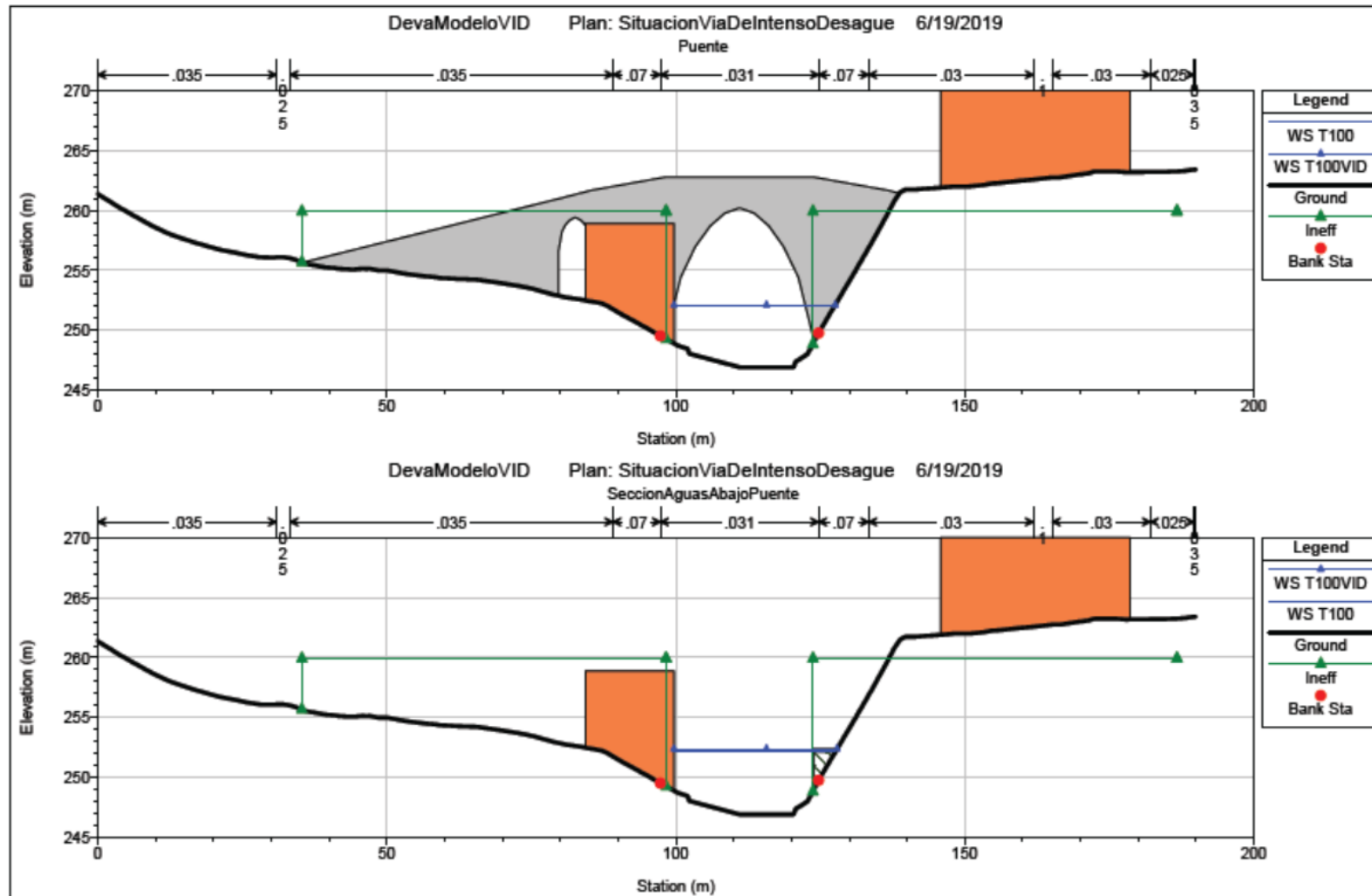


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



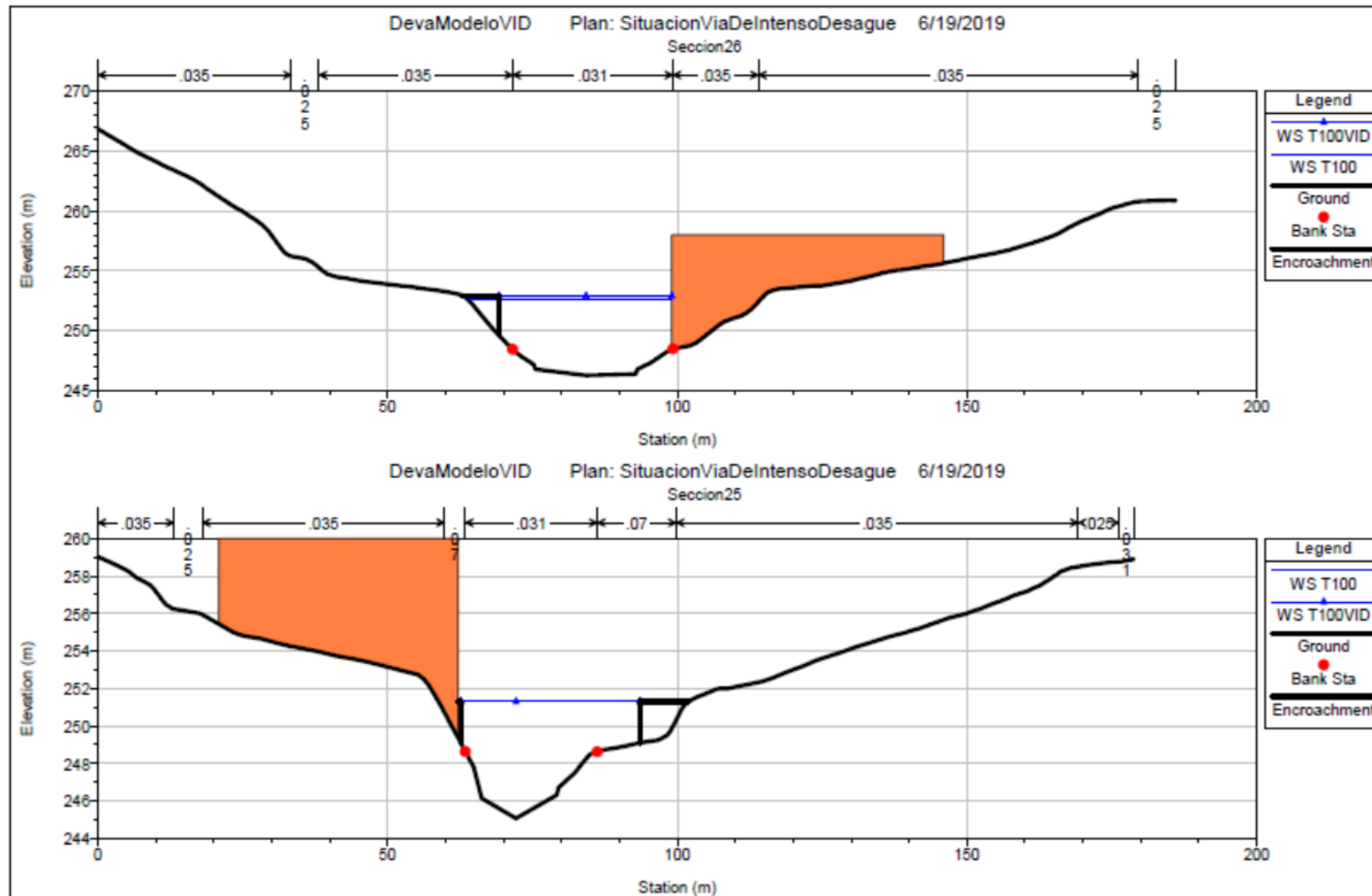


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



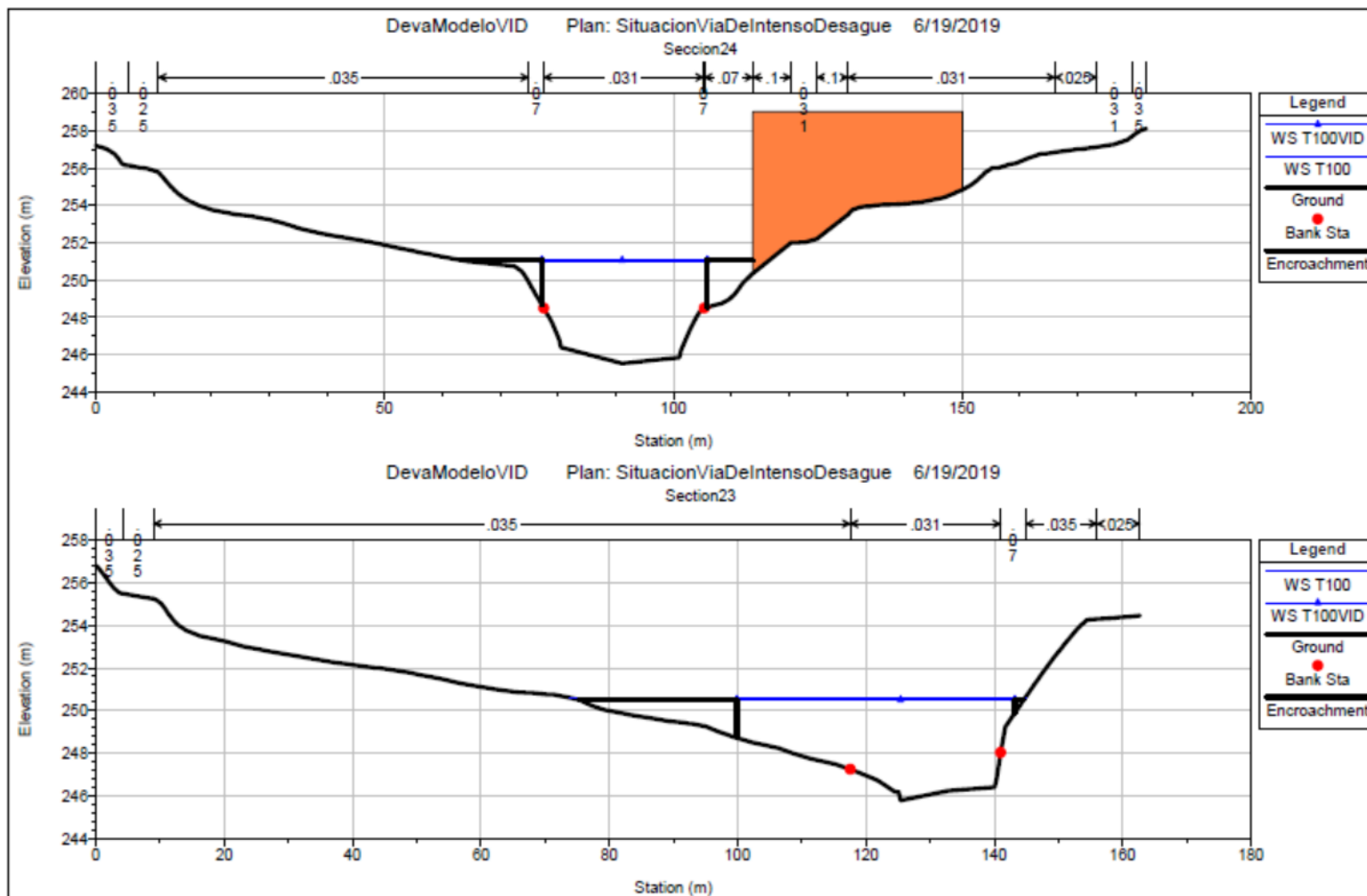


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



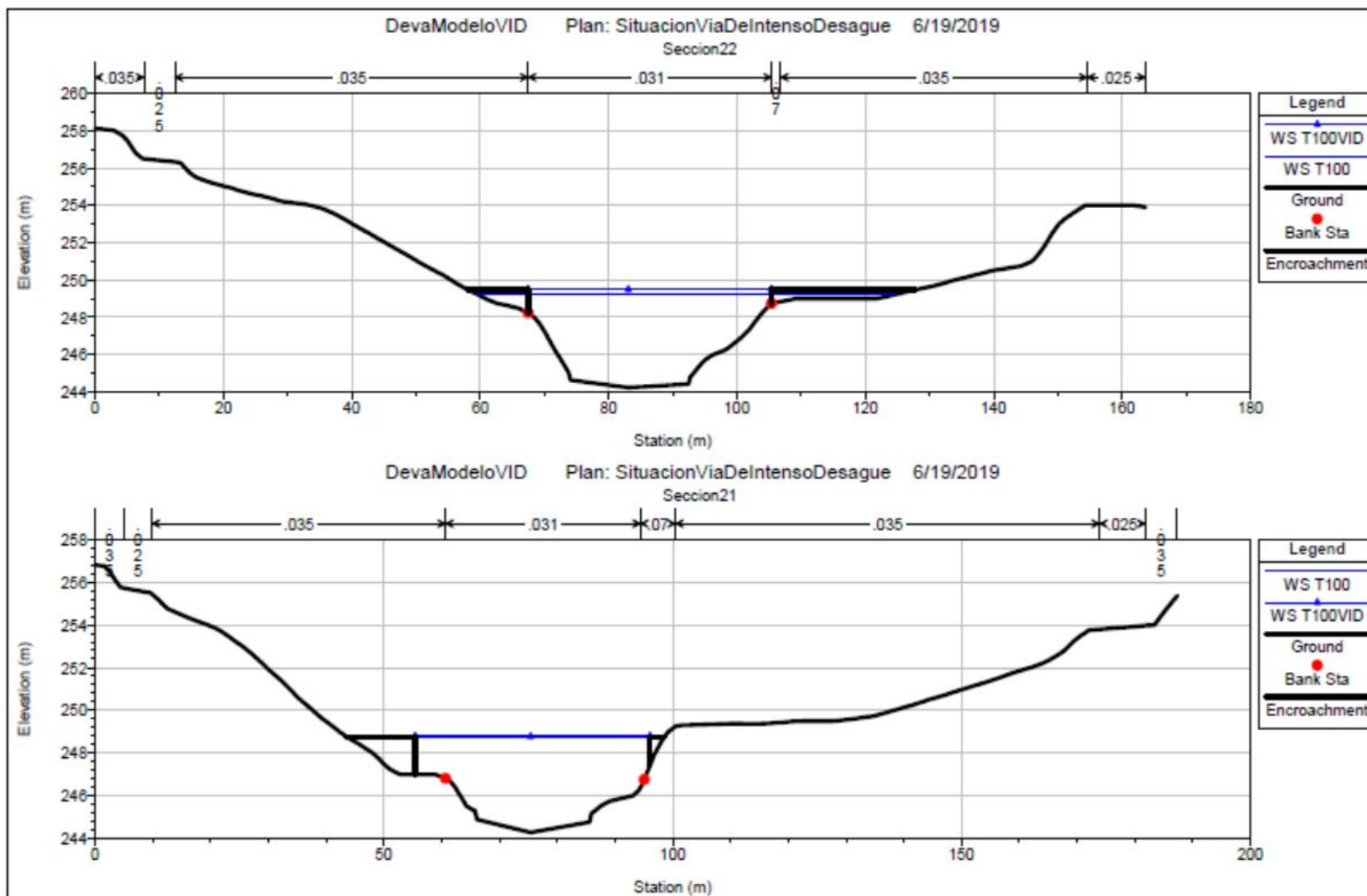


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



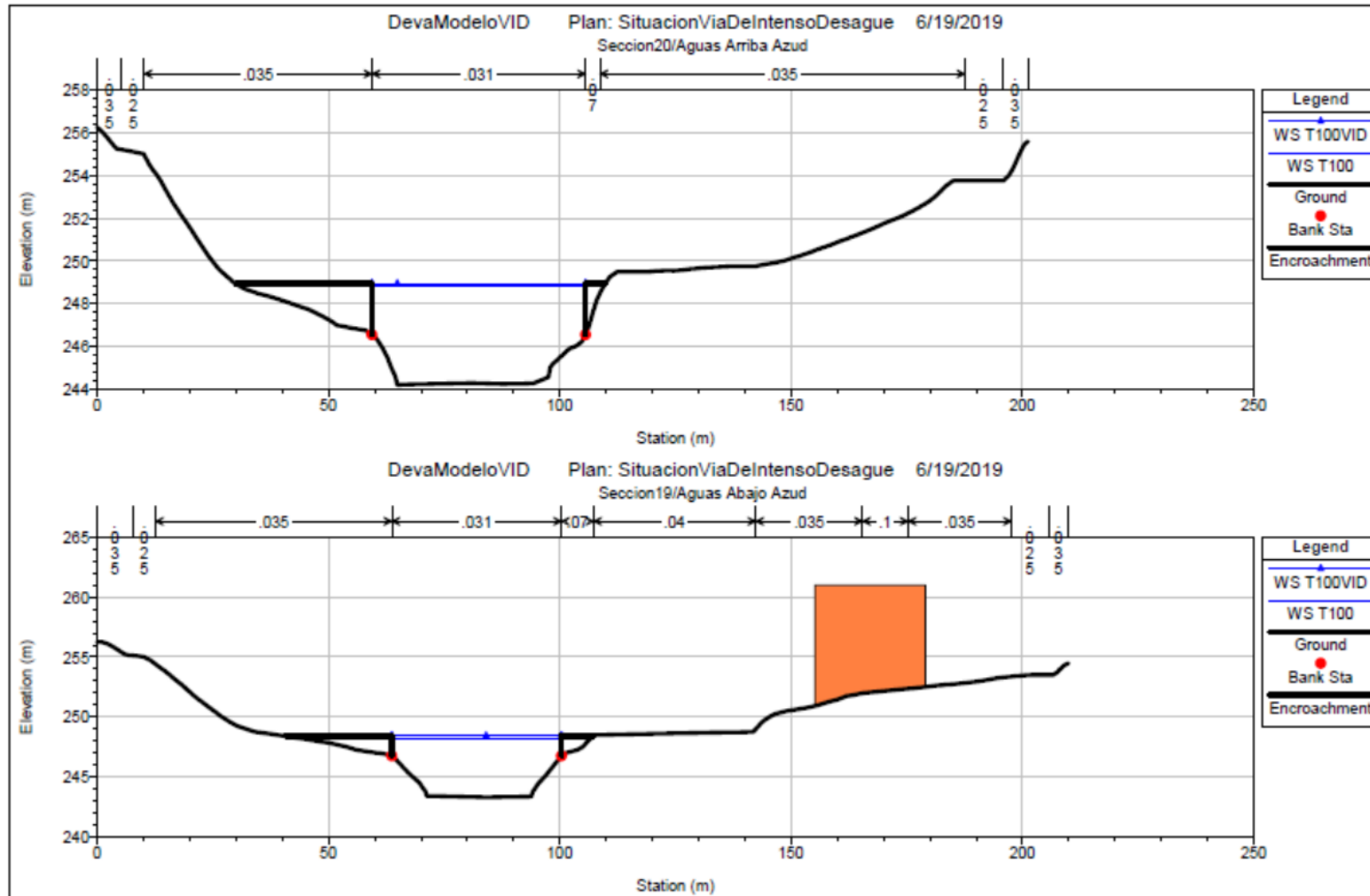


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



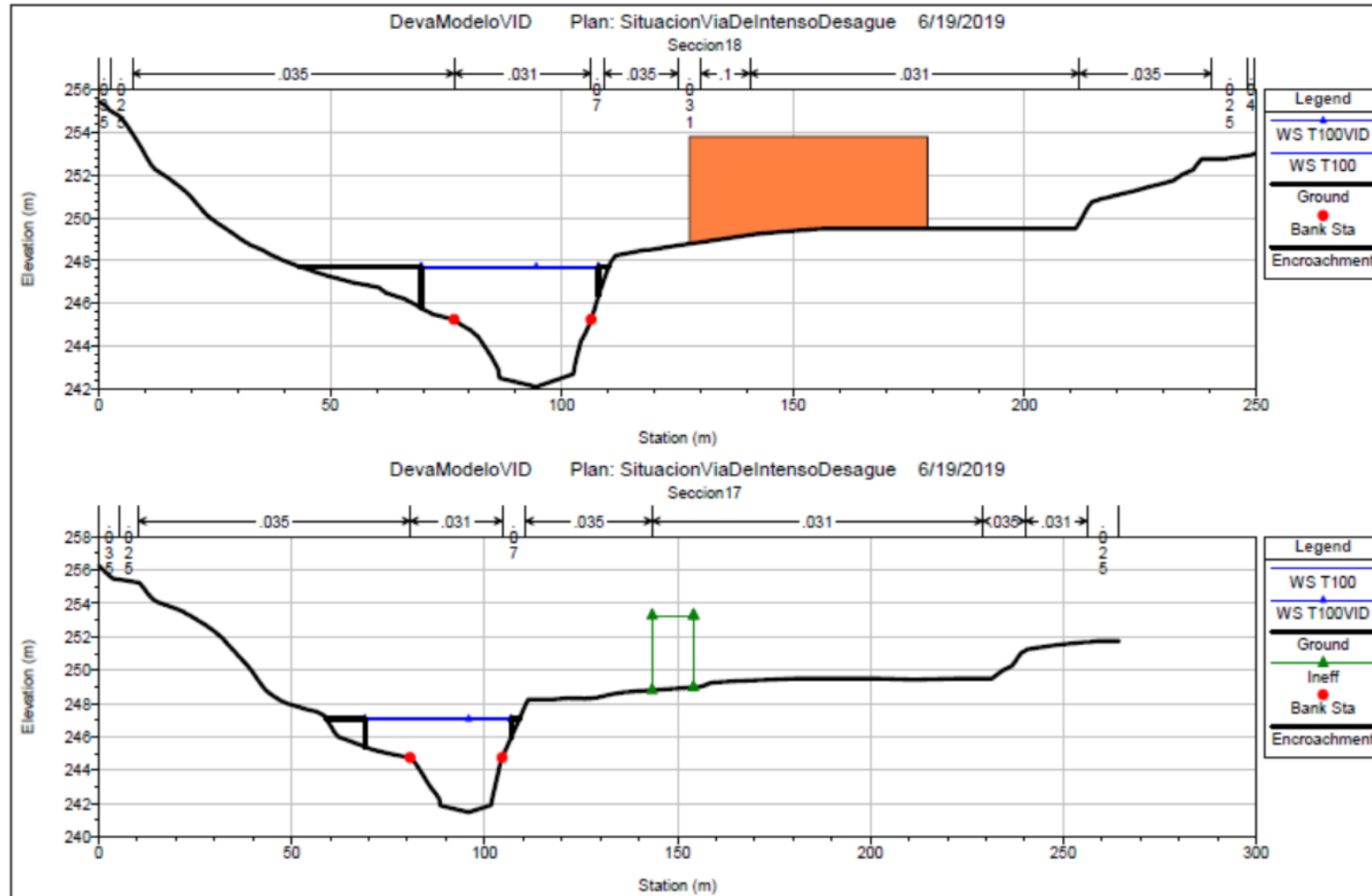


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



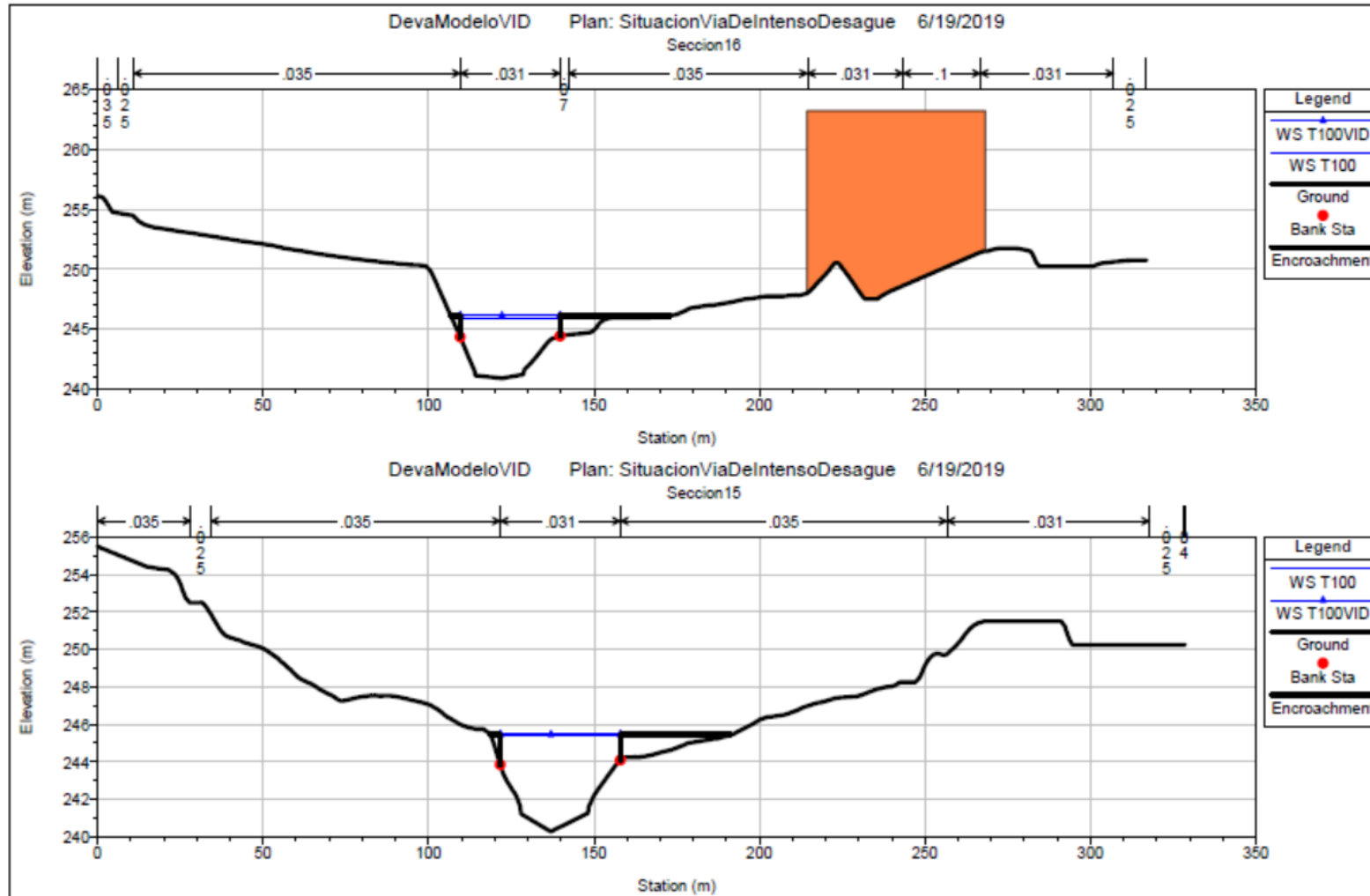


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



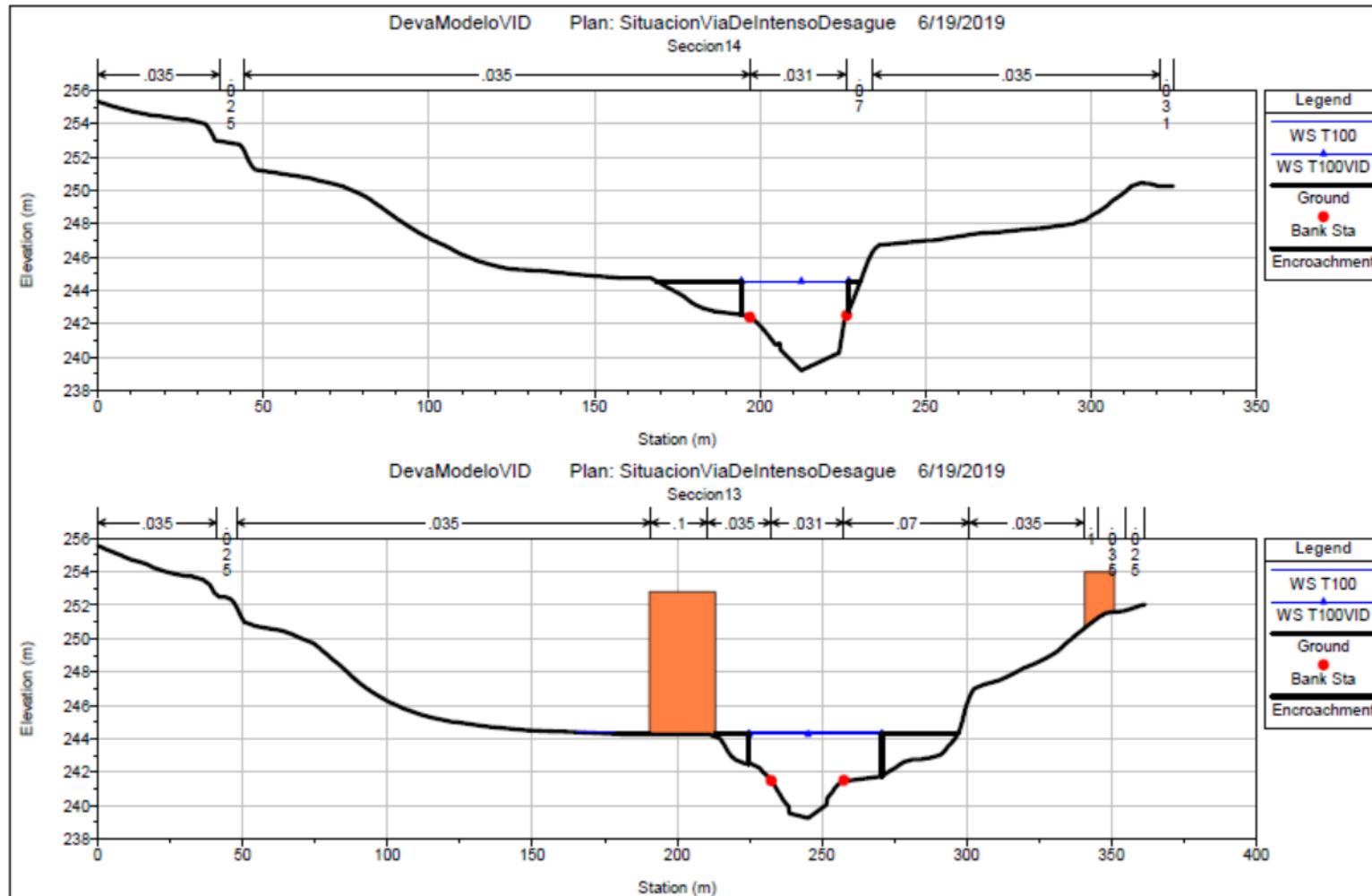


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



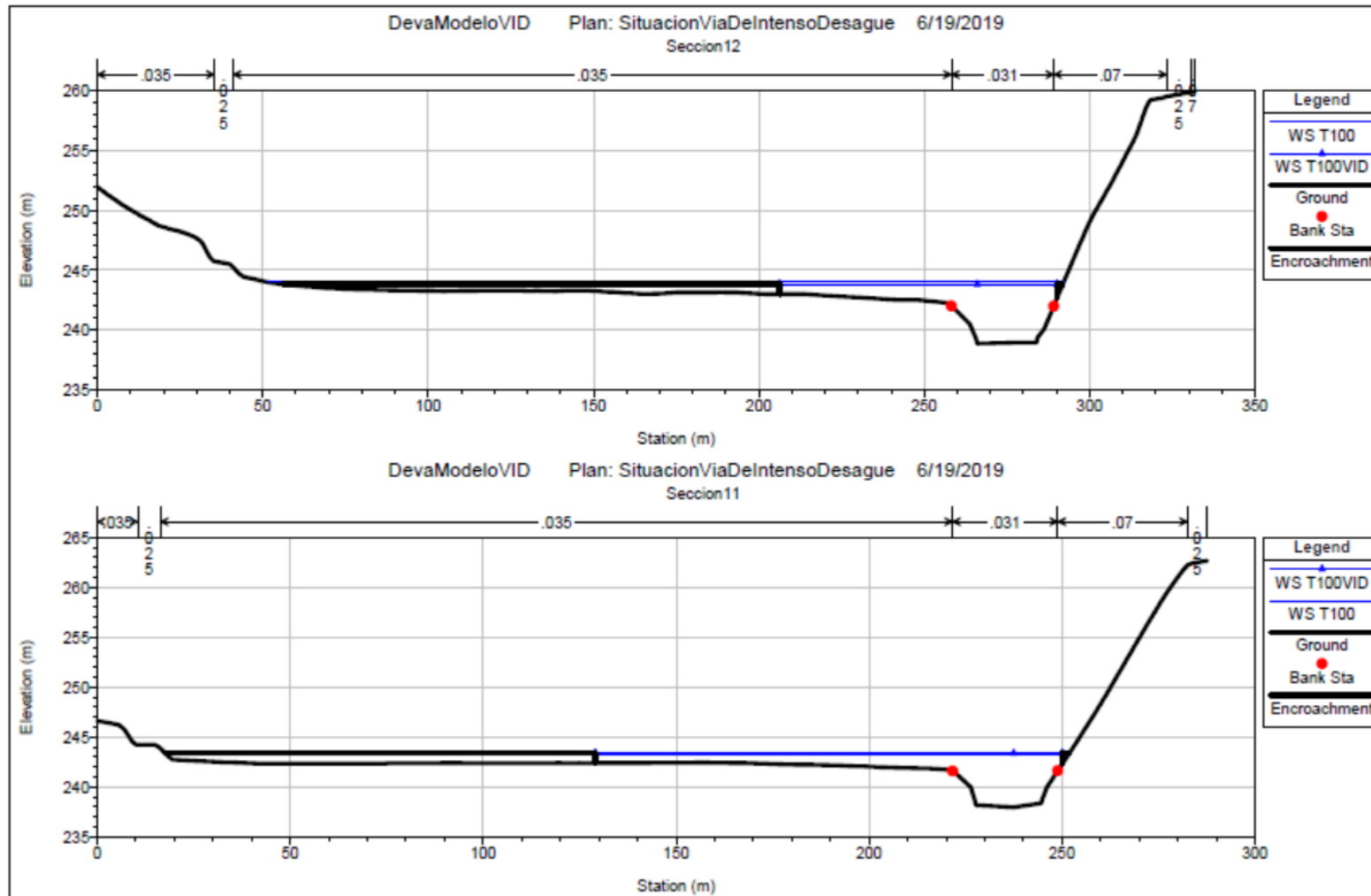


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



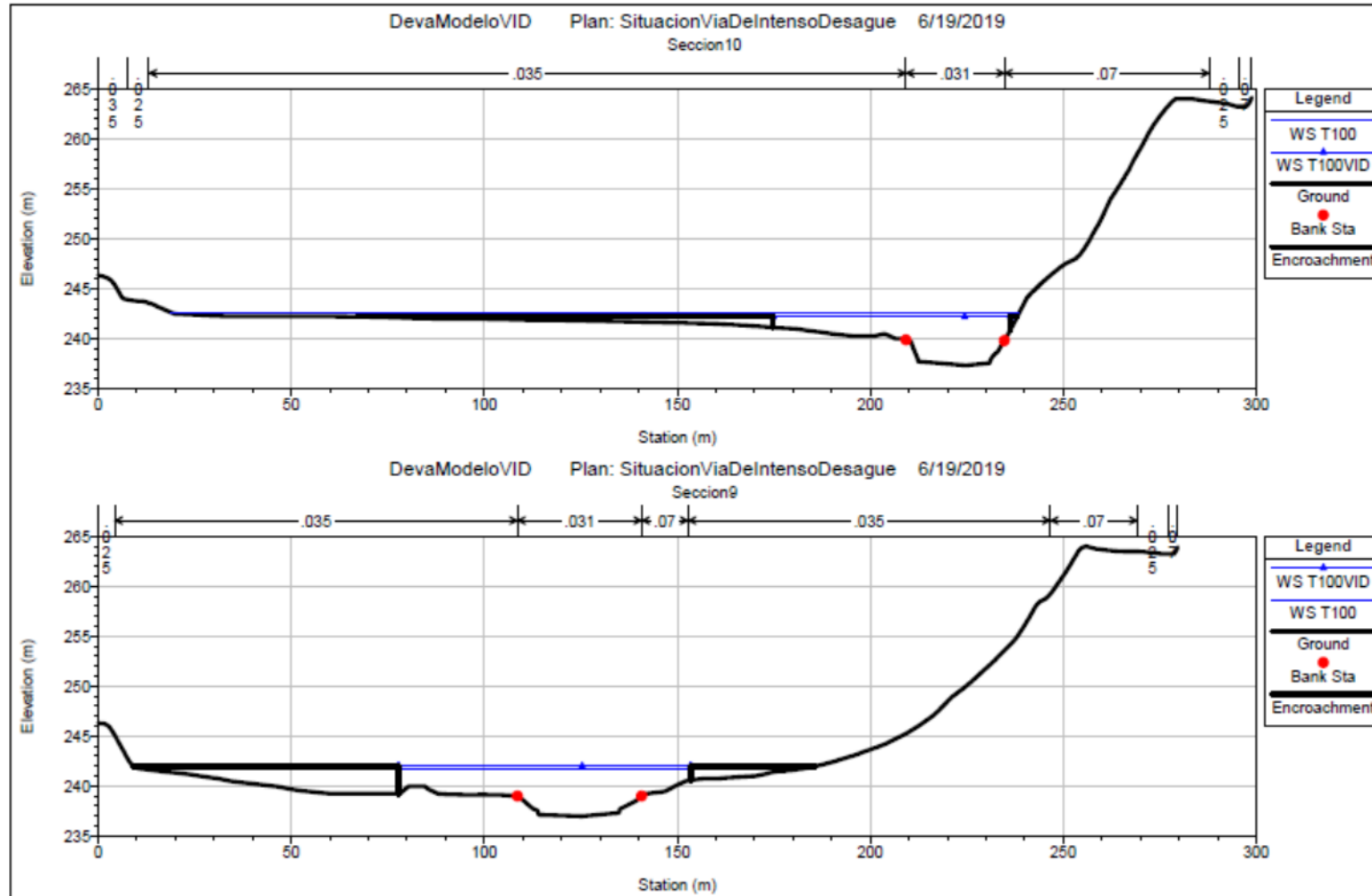


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



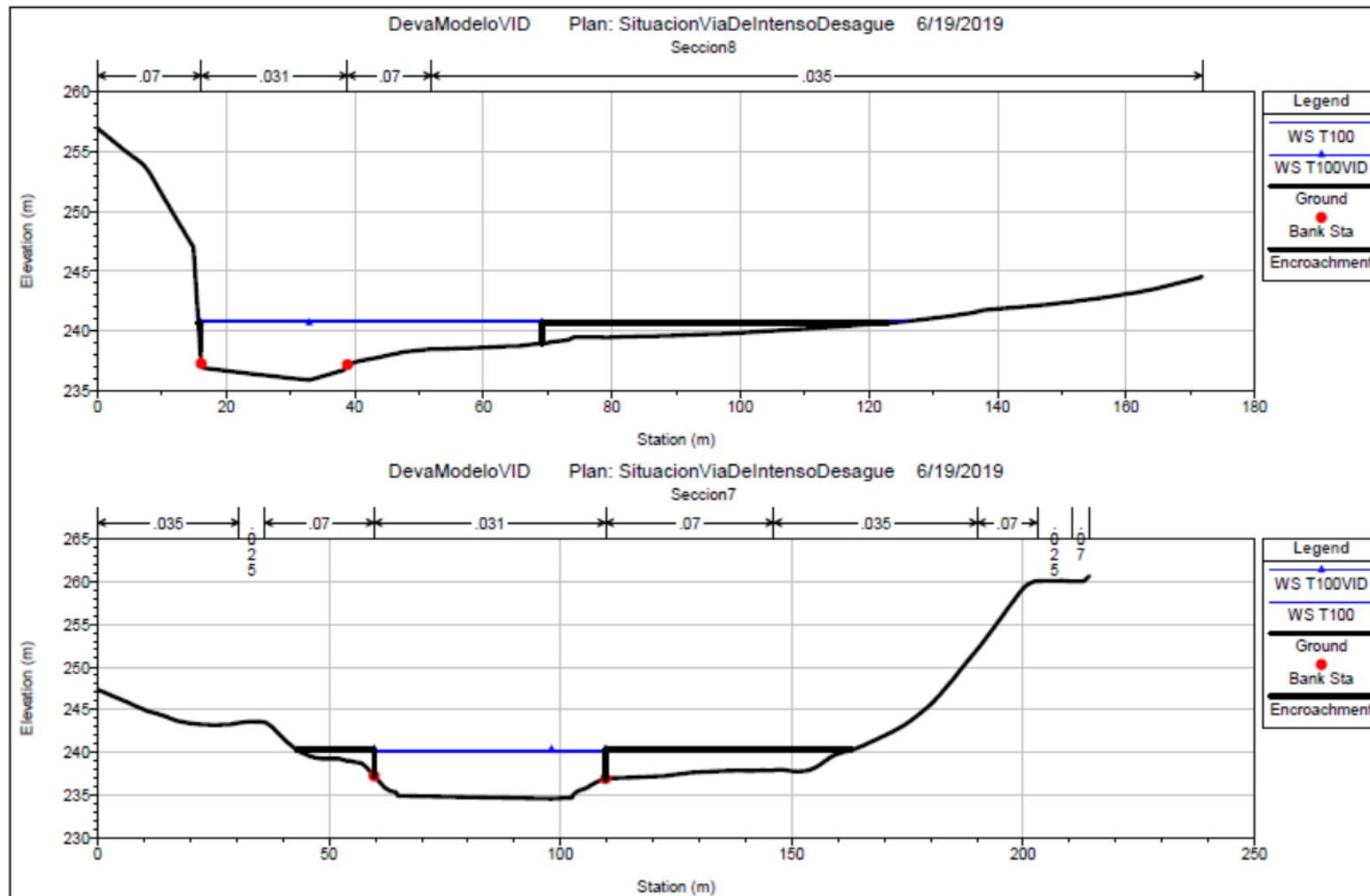


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



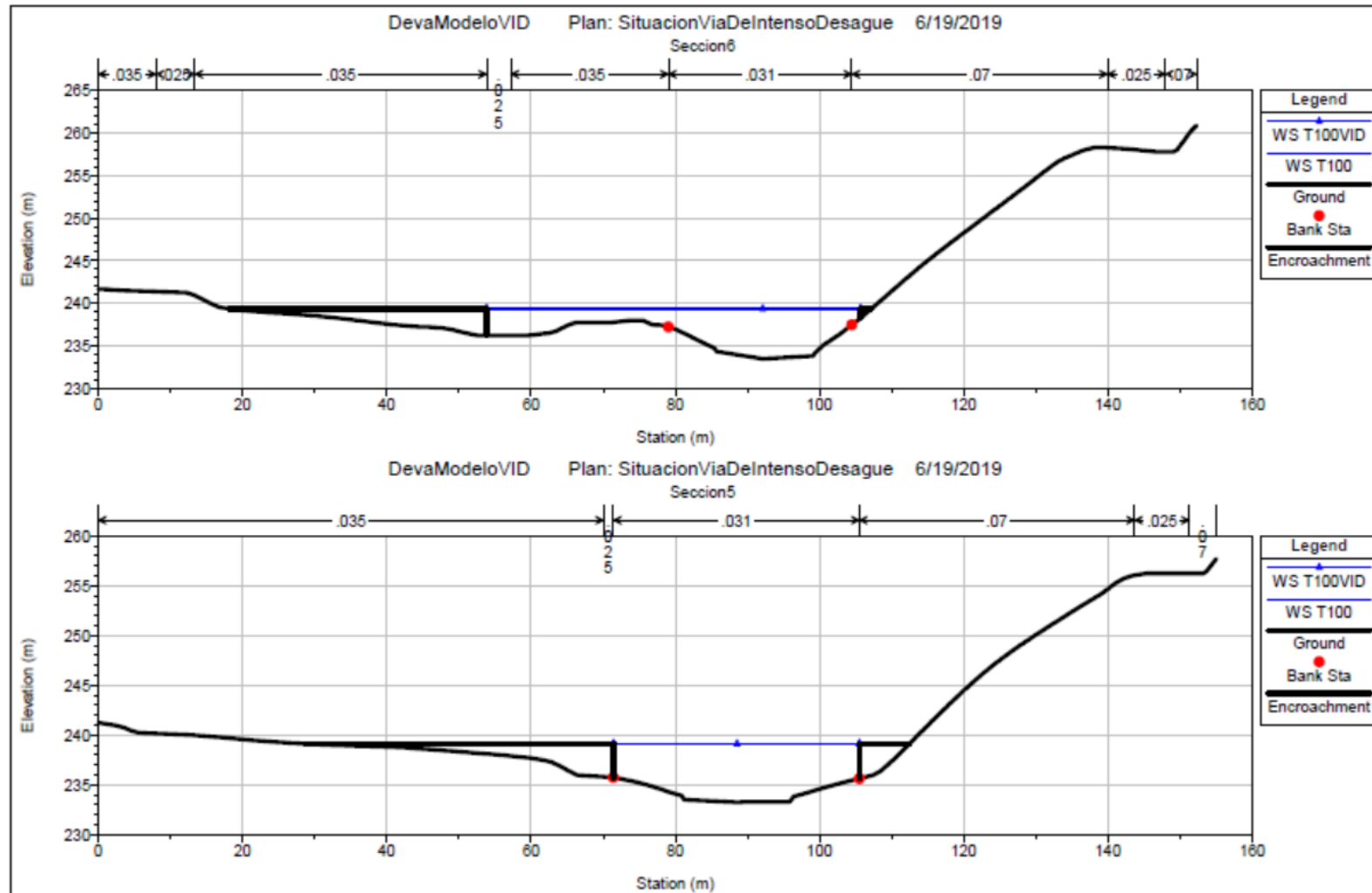


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



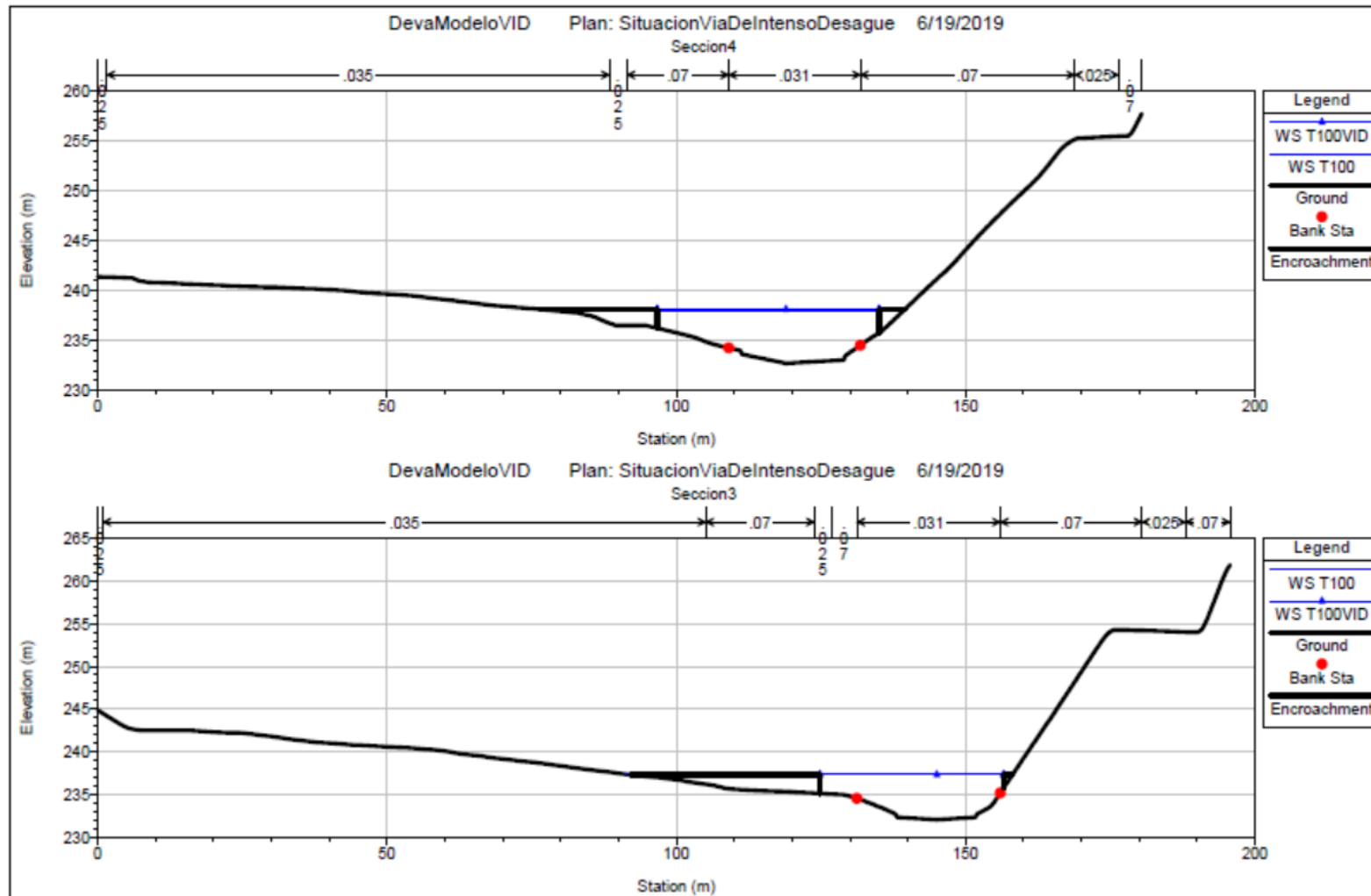


Trabajo de Fin de Grado
"Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía"
Ana González Fadrique



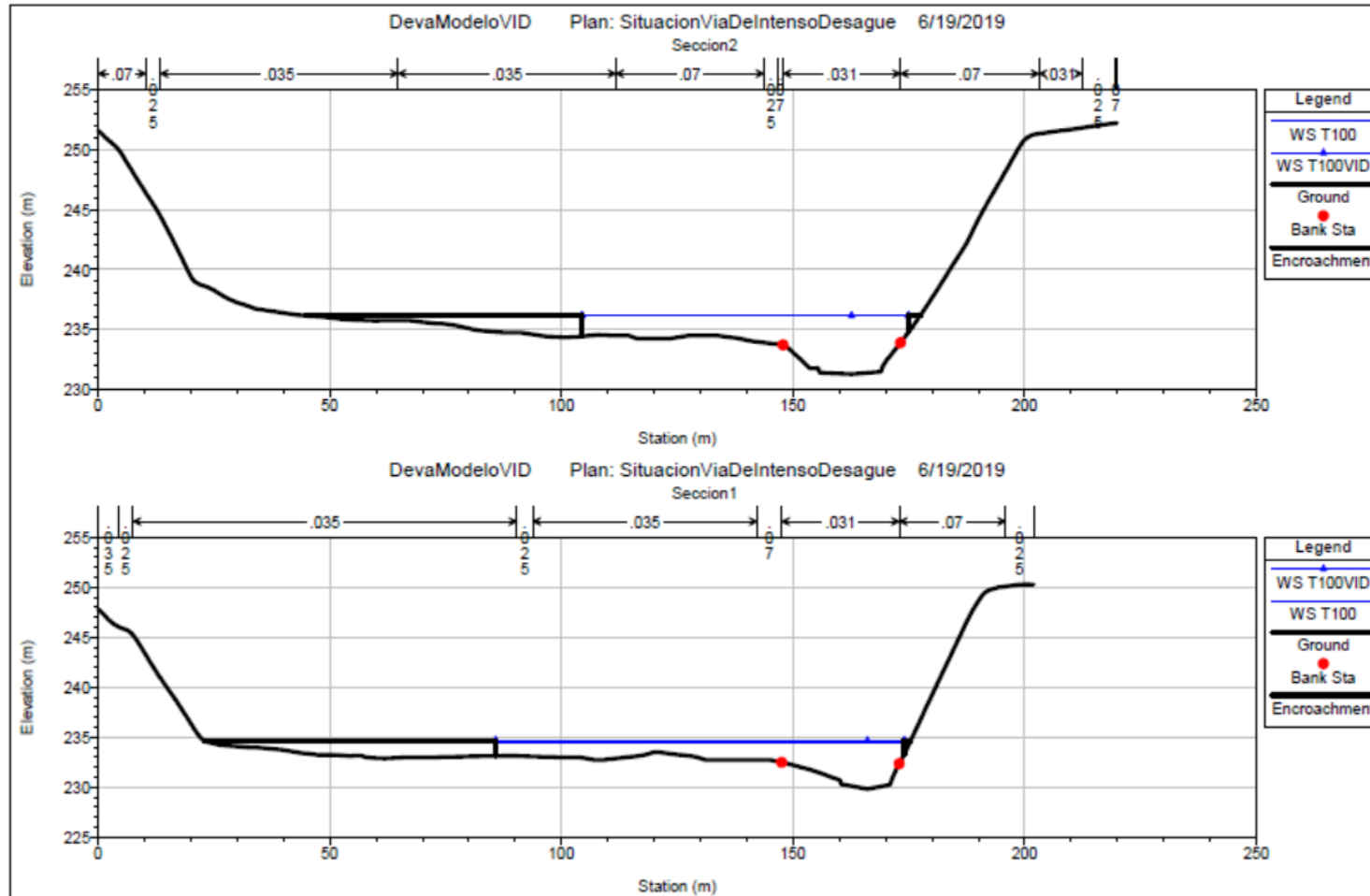


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





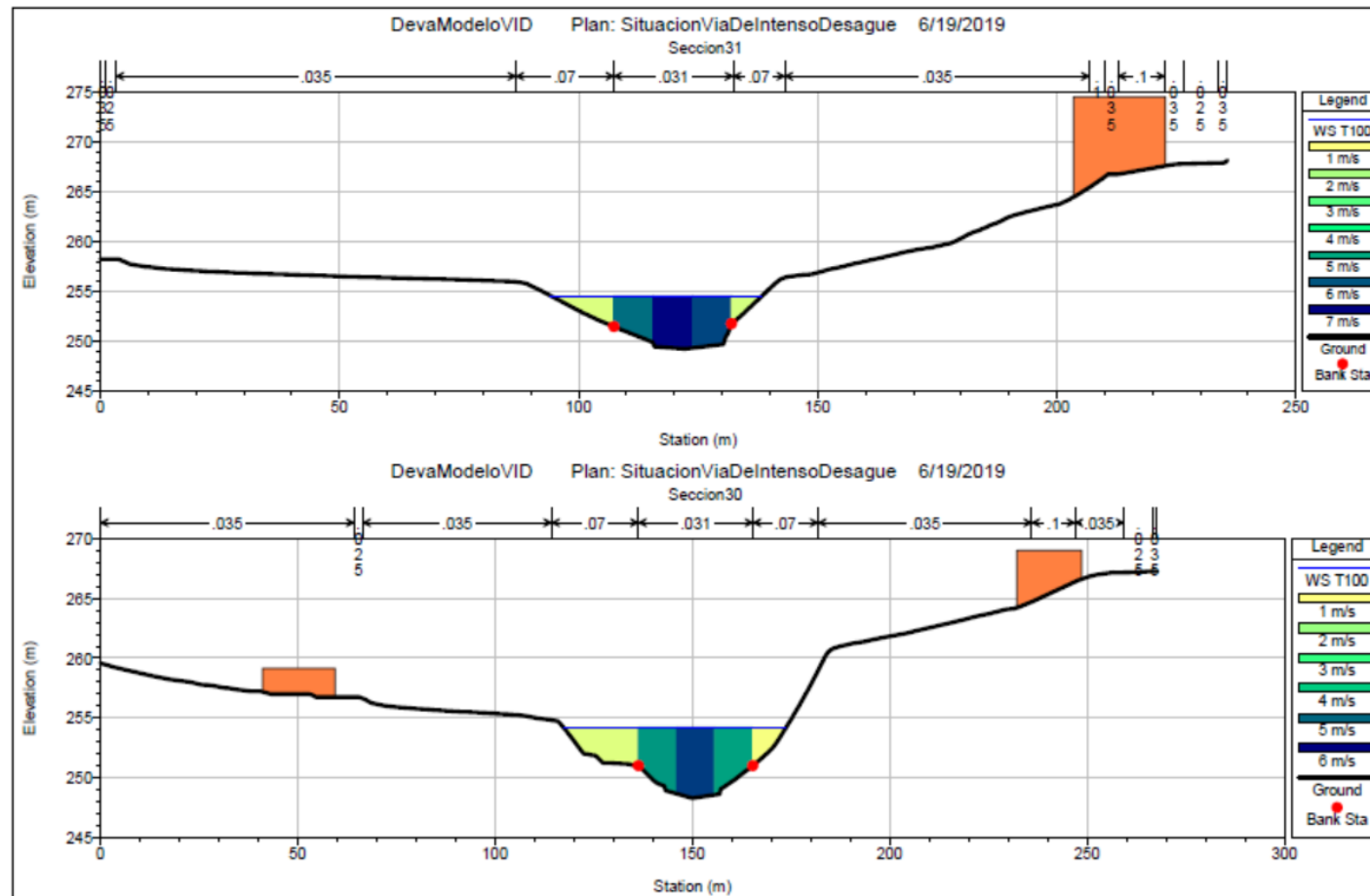
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





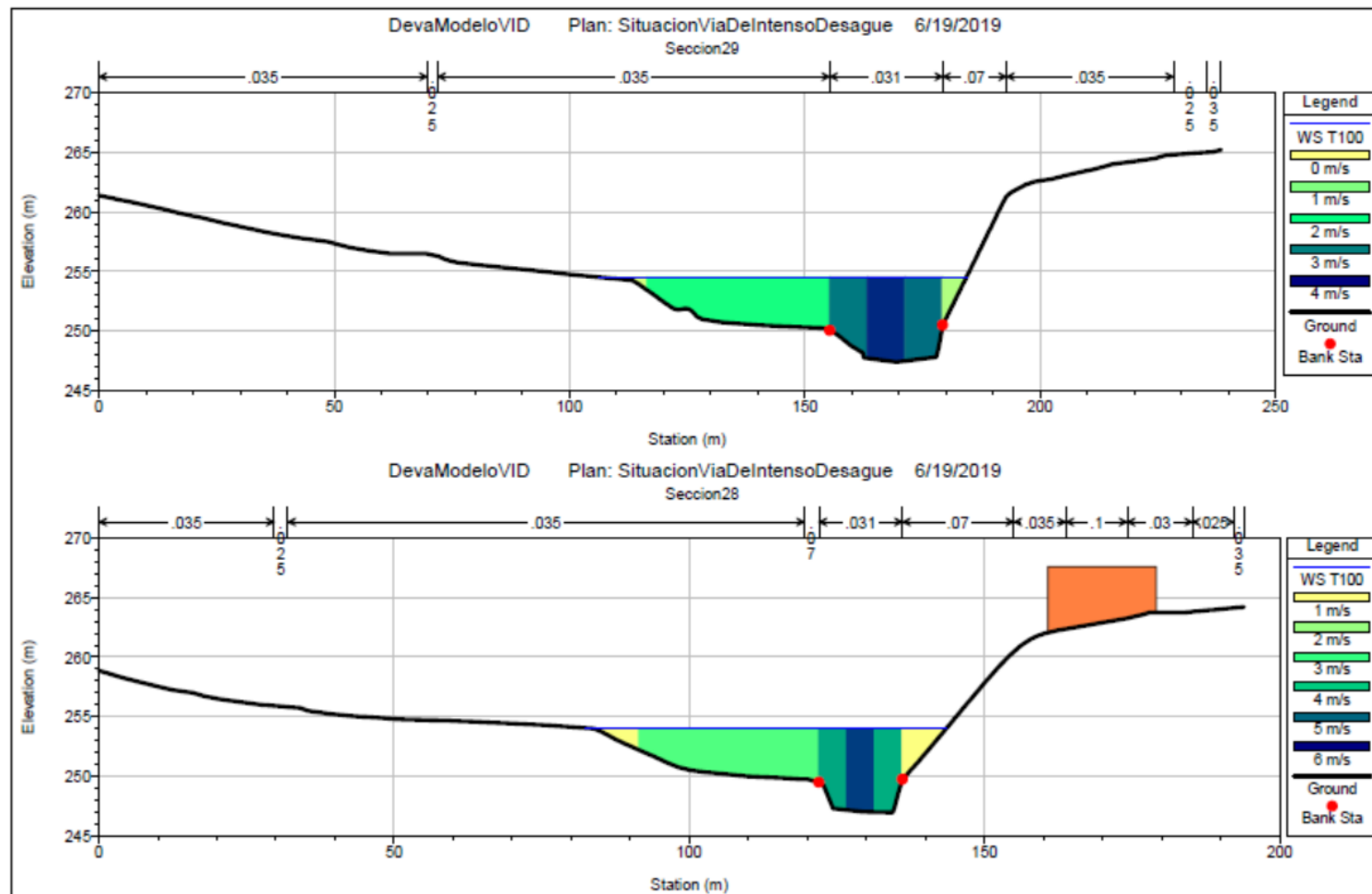
Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

Perfiles Transversales Velocidades



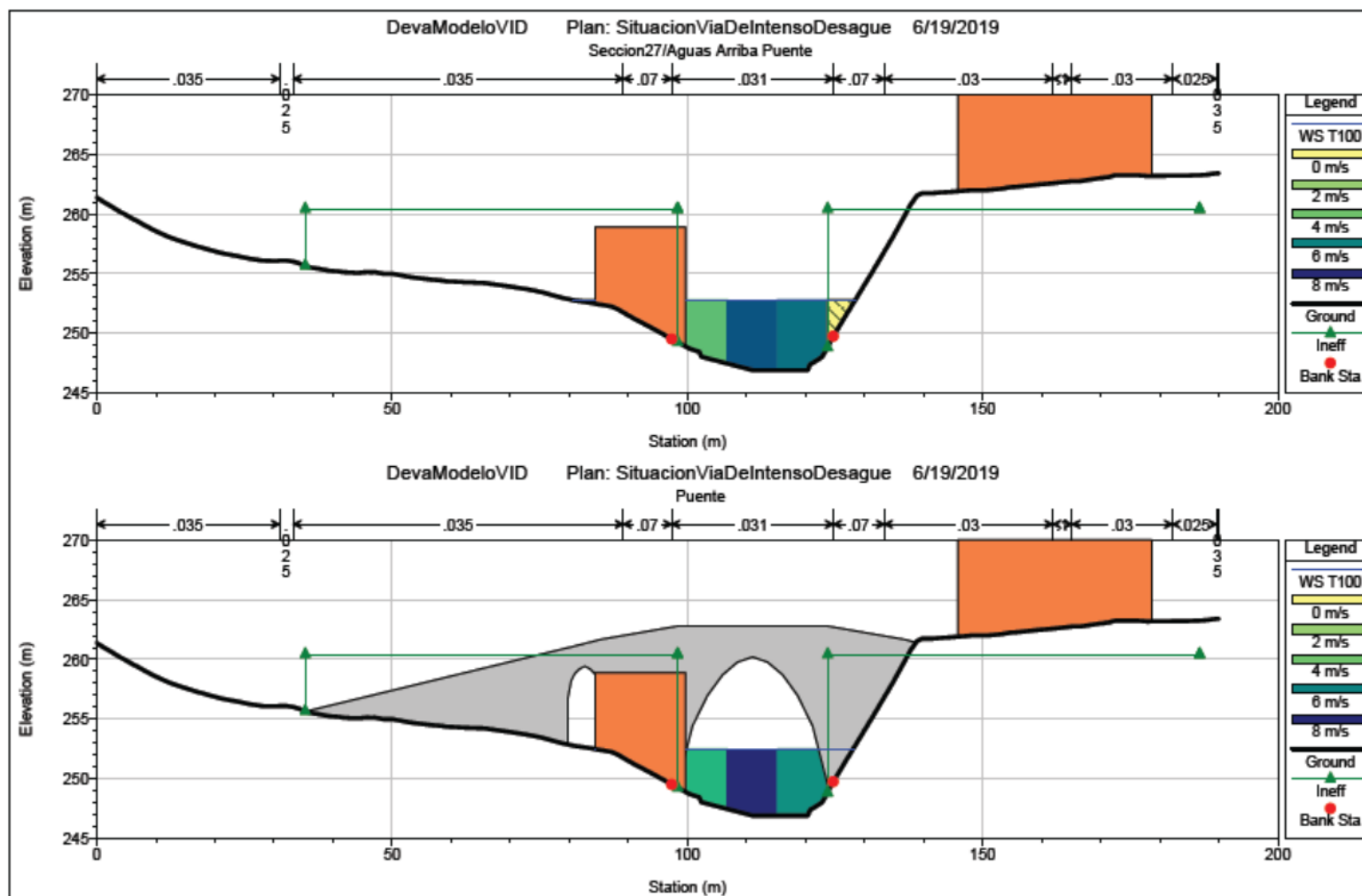


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



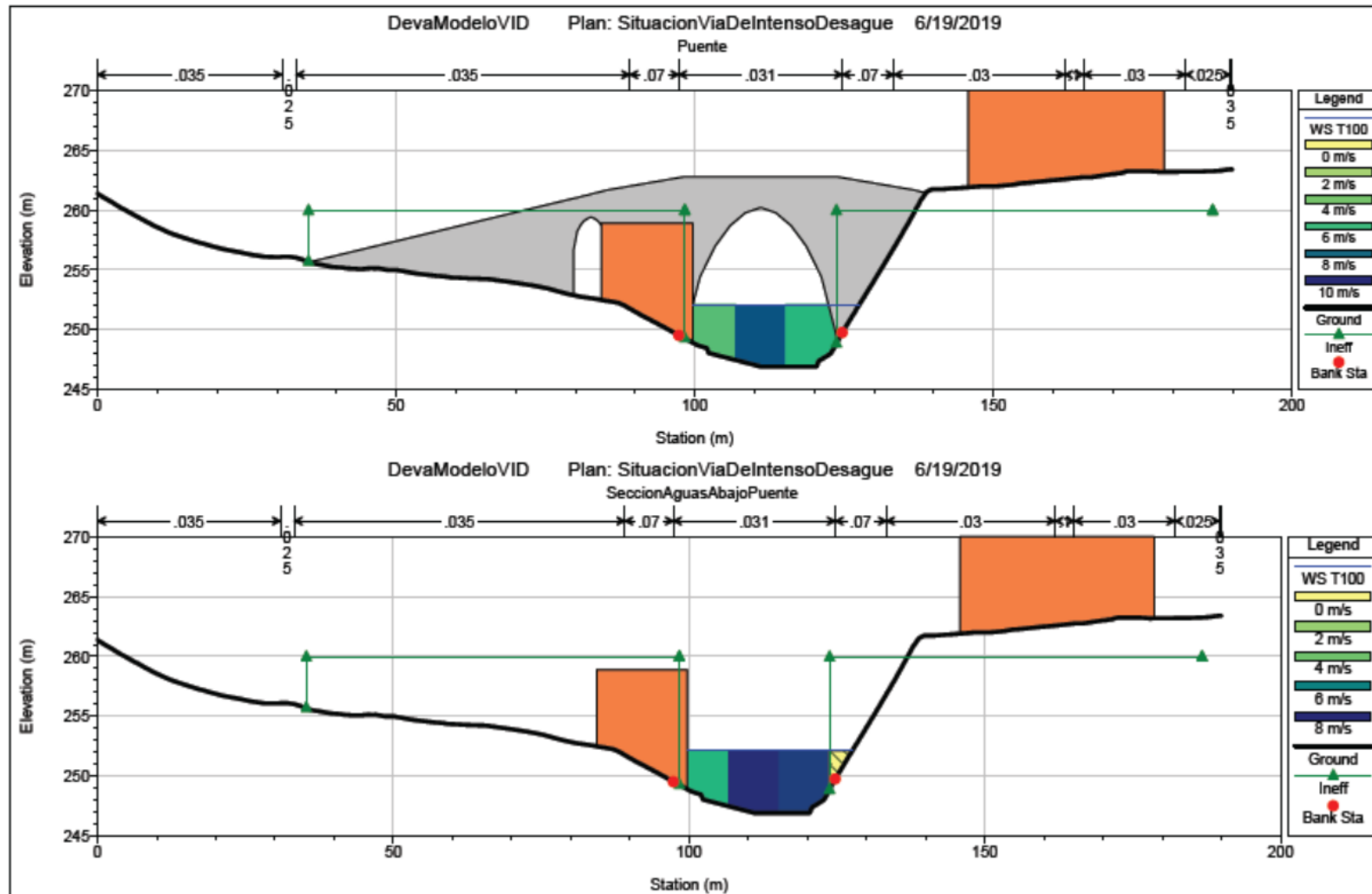


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



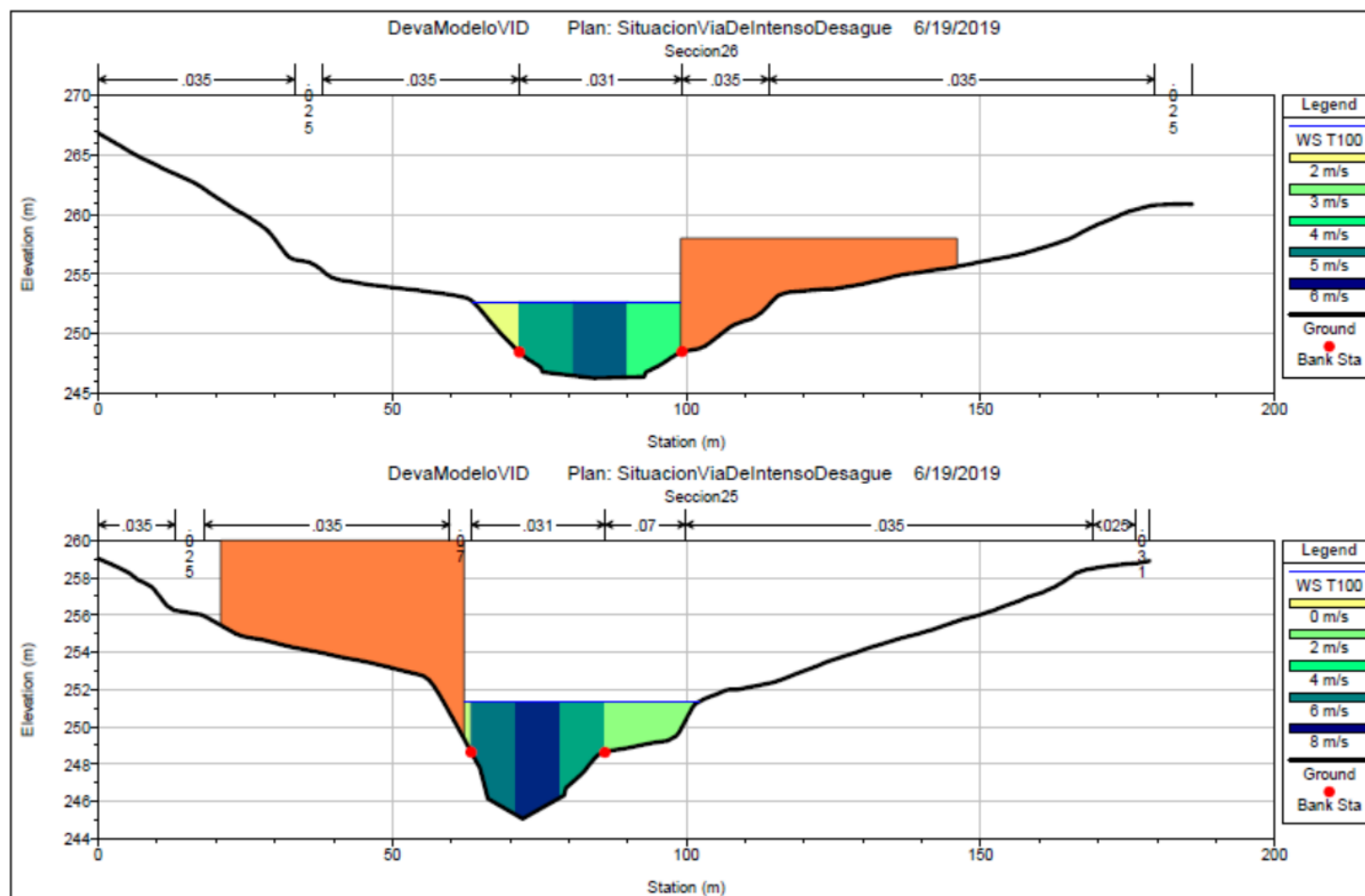


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



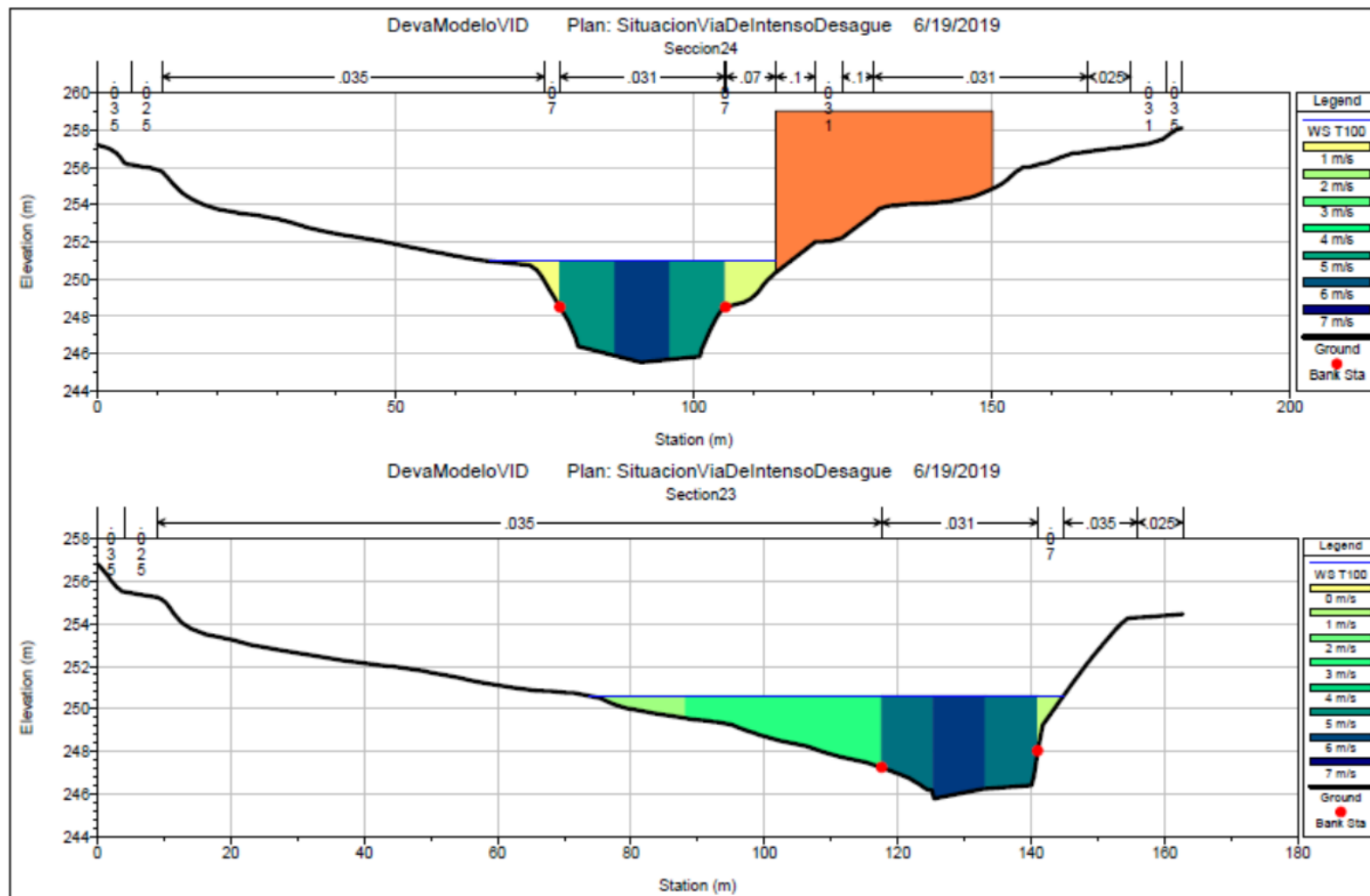


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



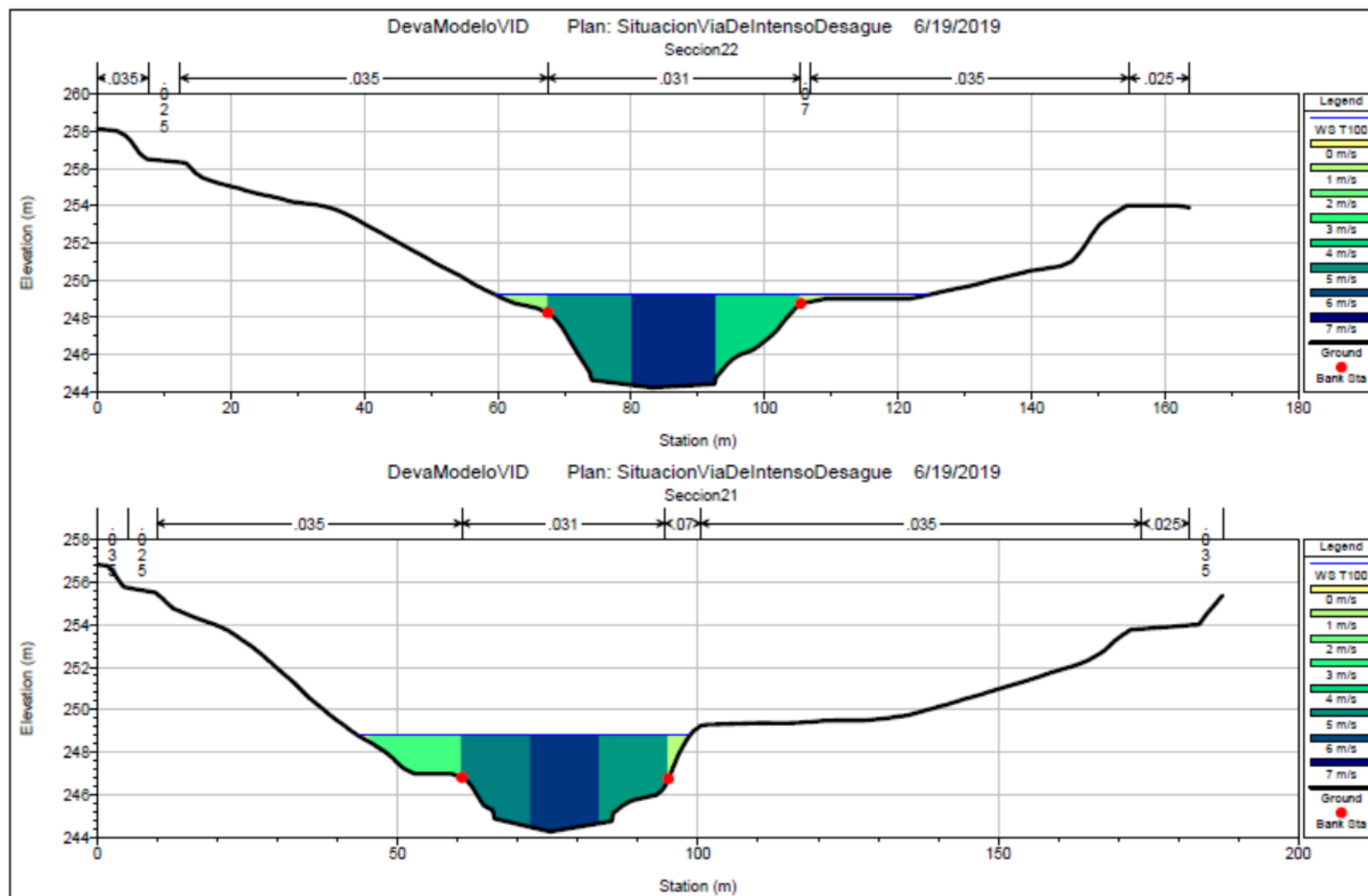


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



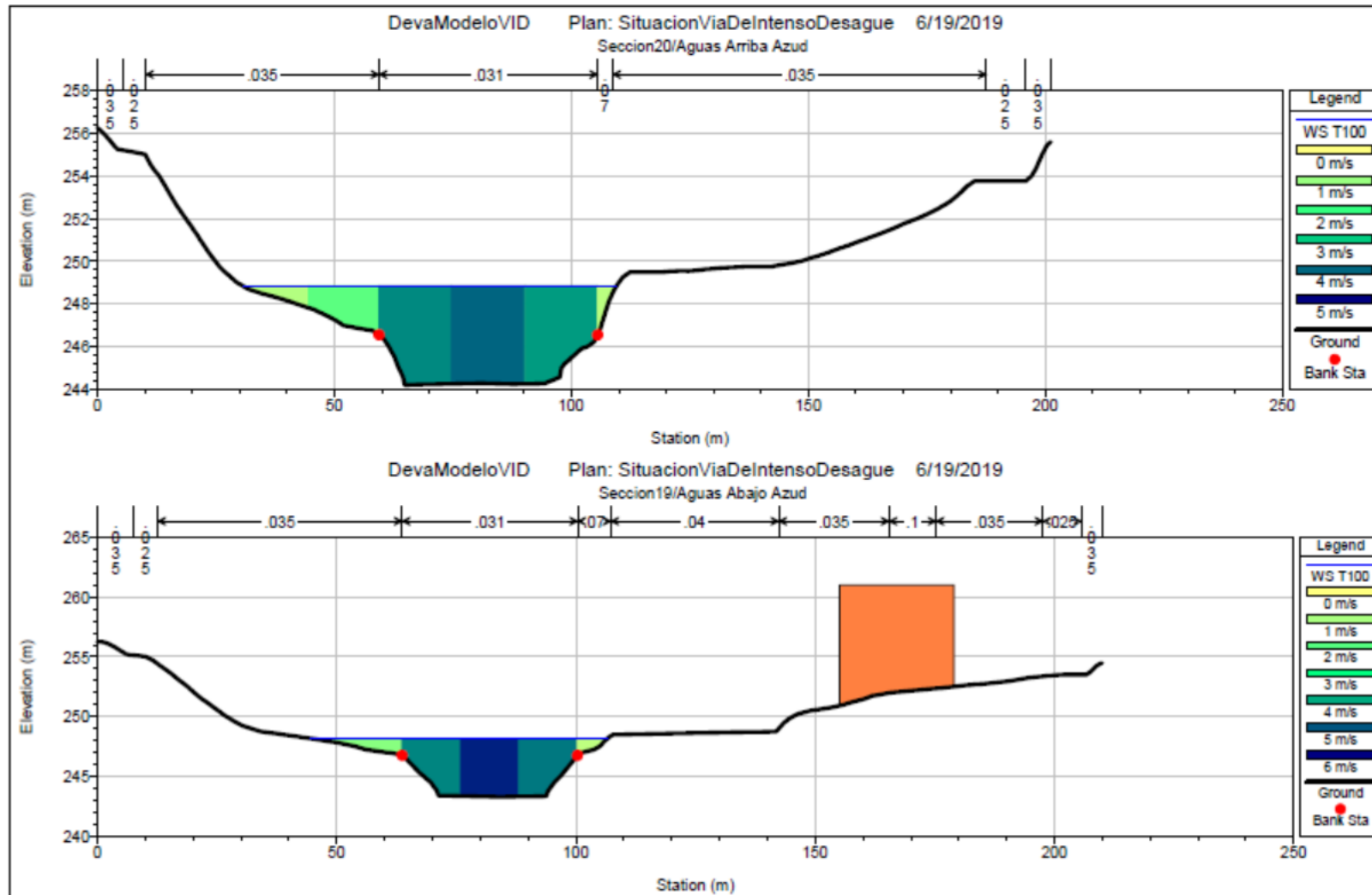


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



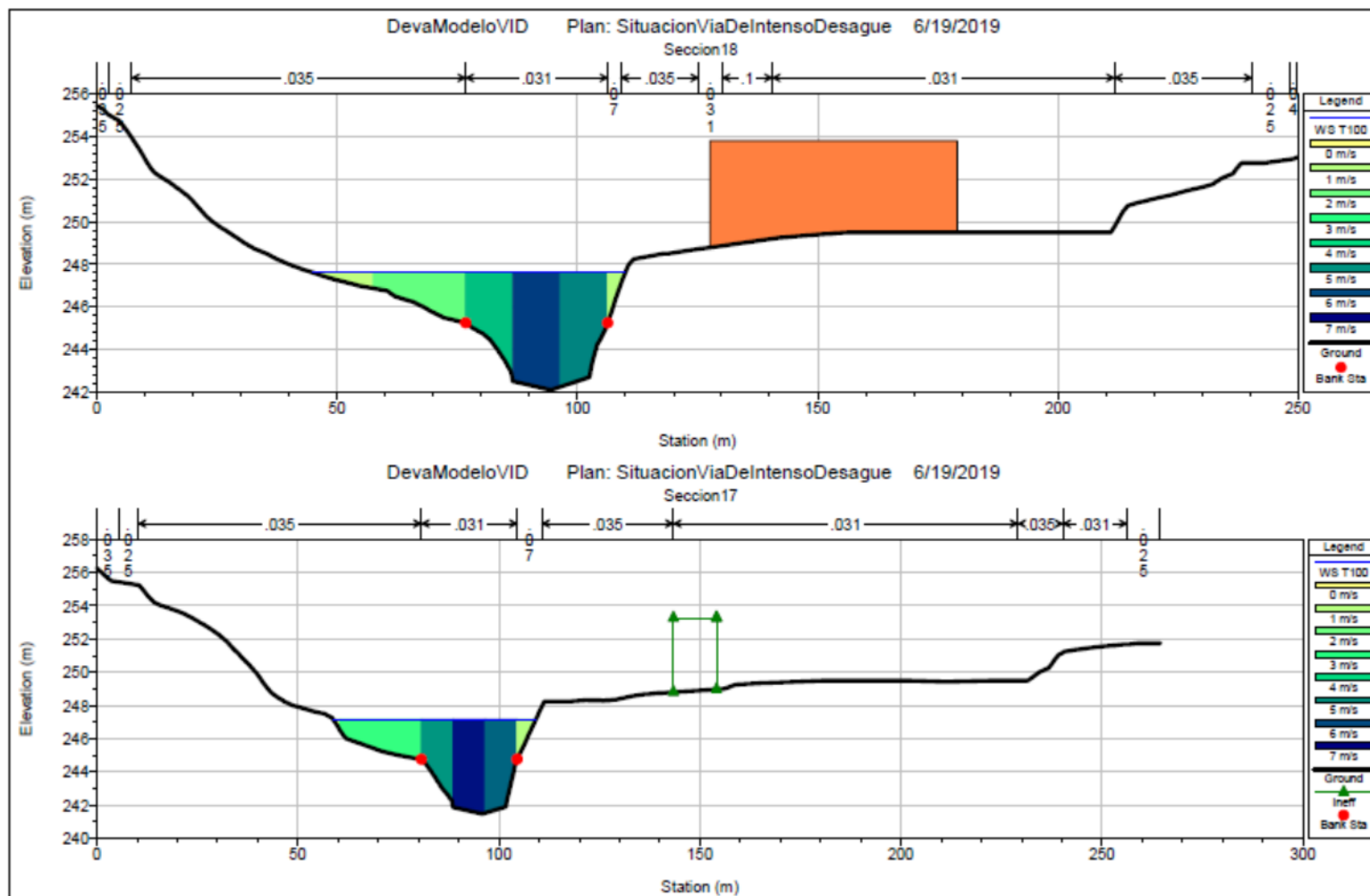


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



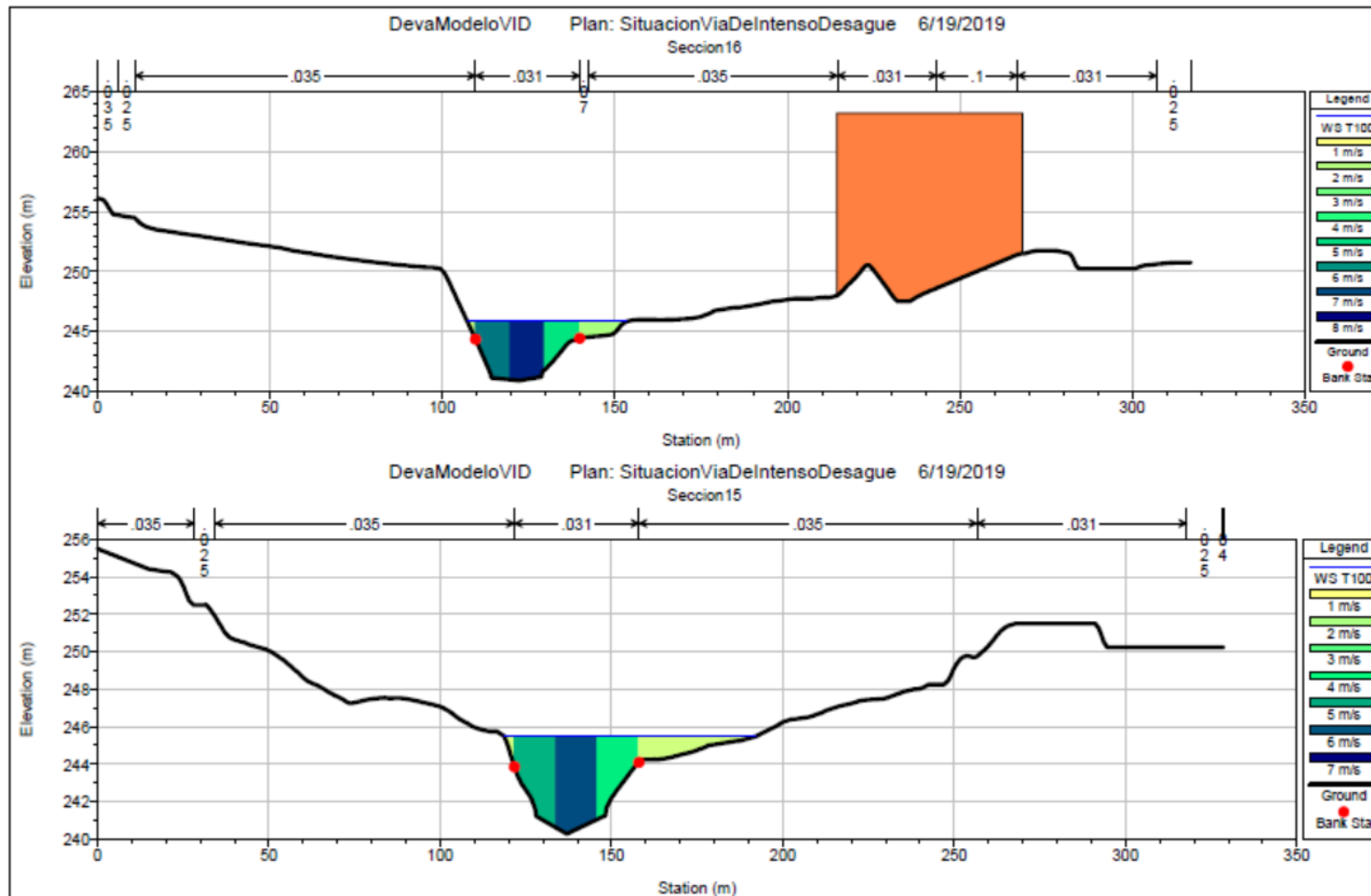


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



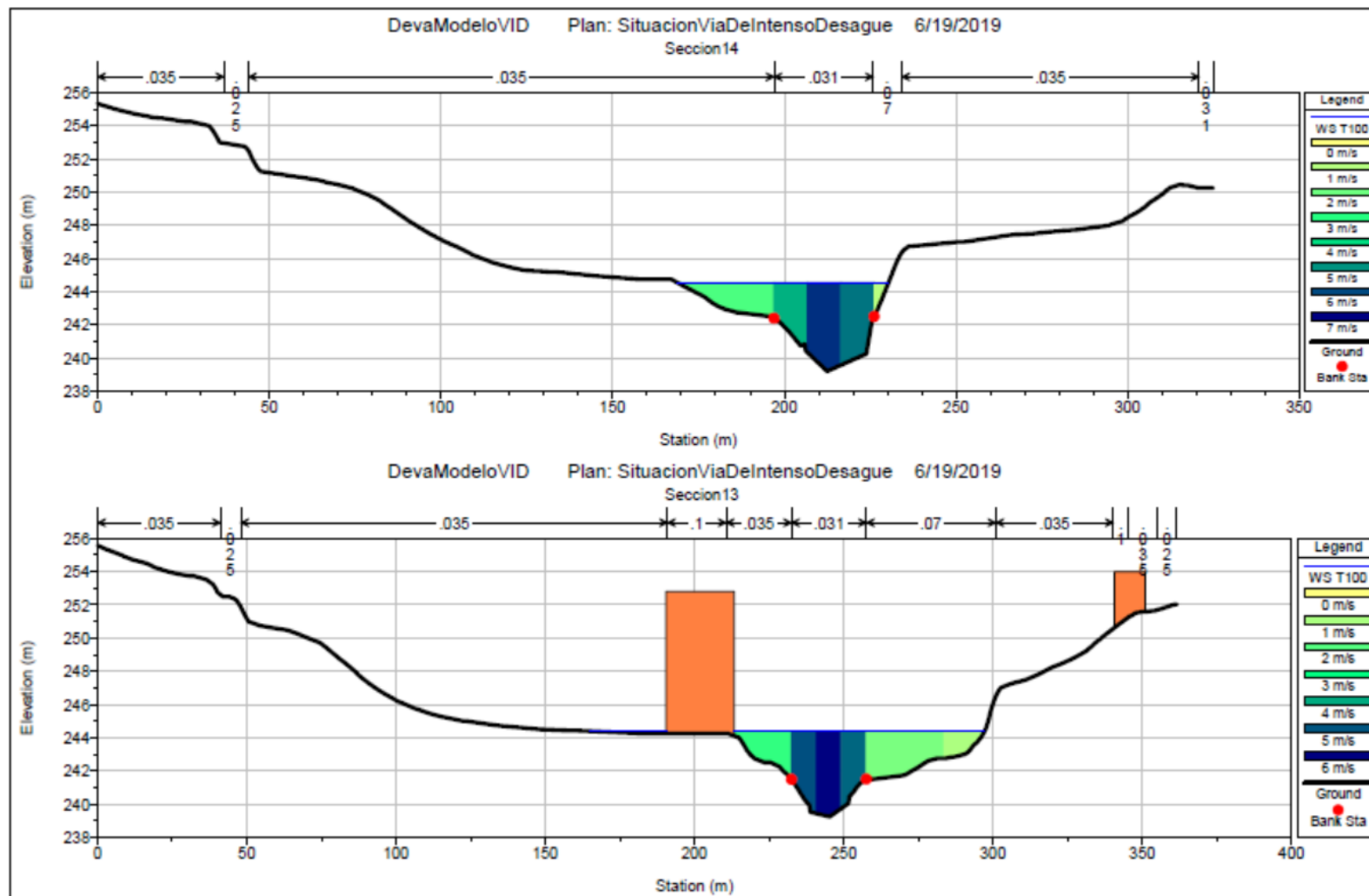


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



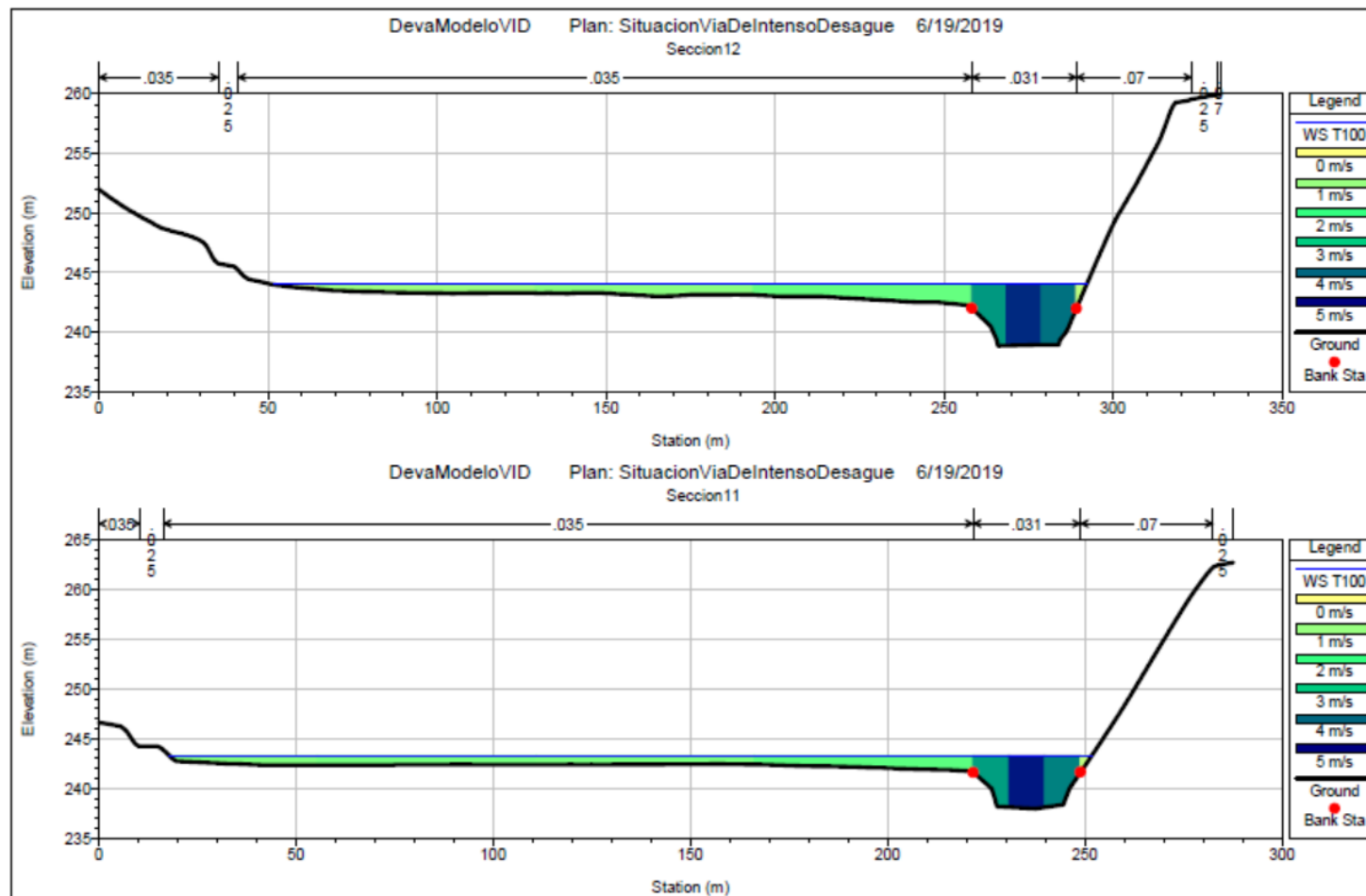


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



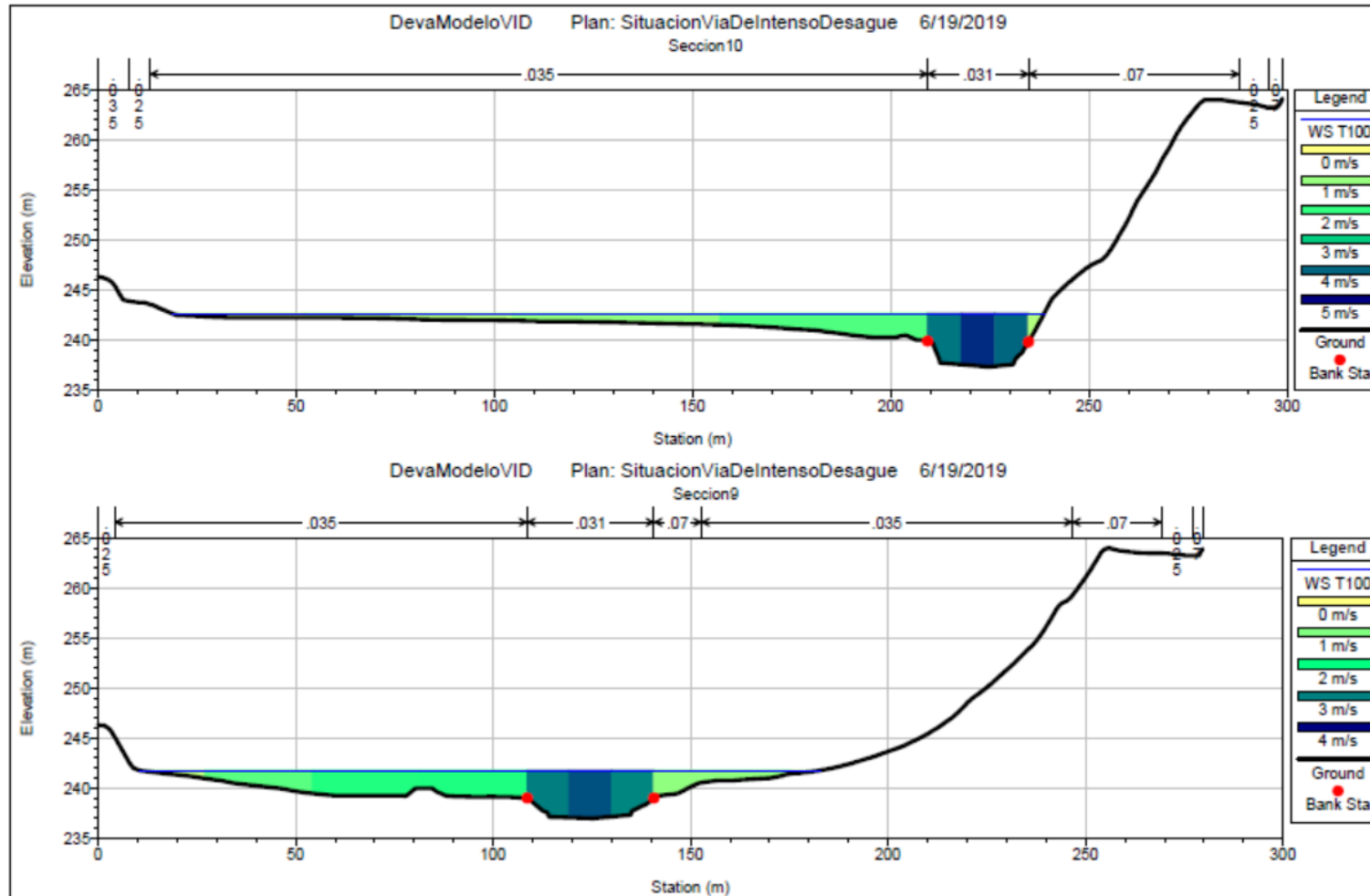


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



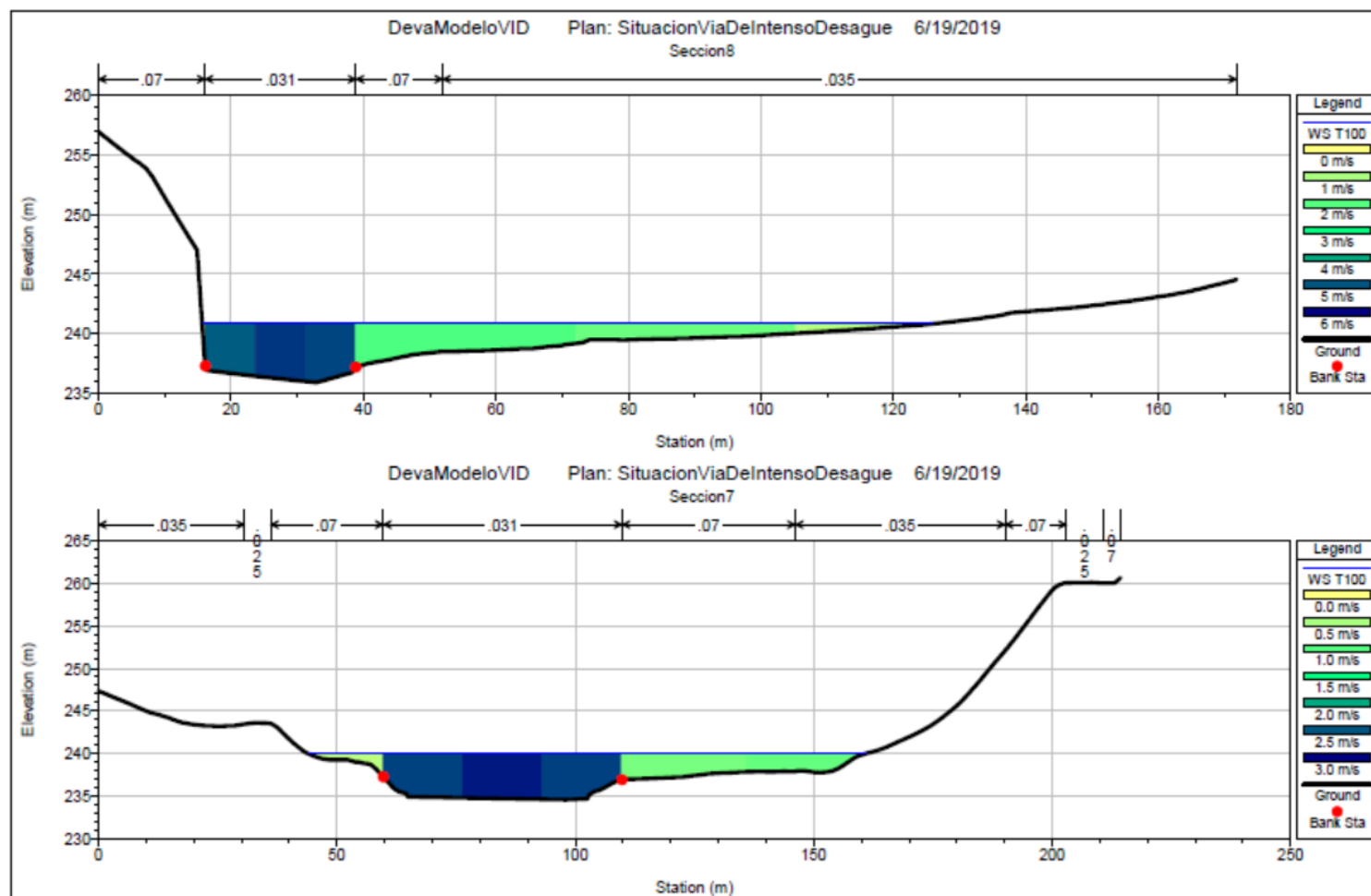


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



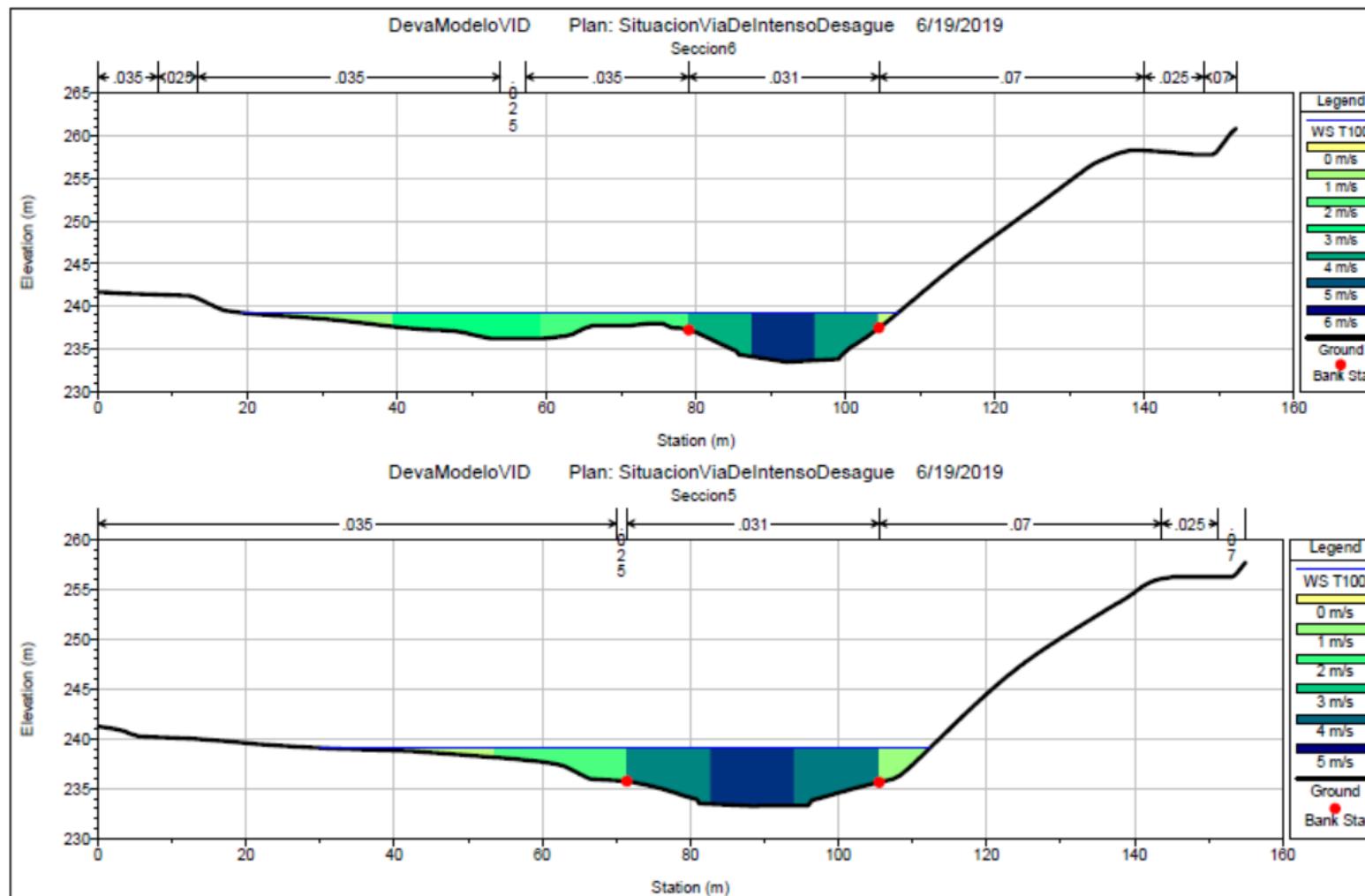


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique



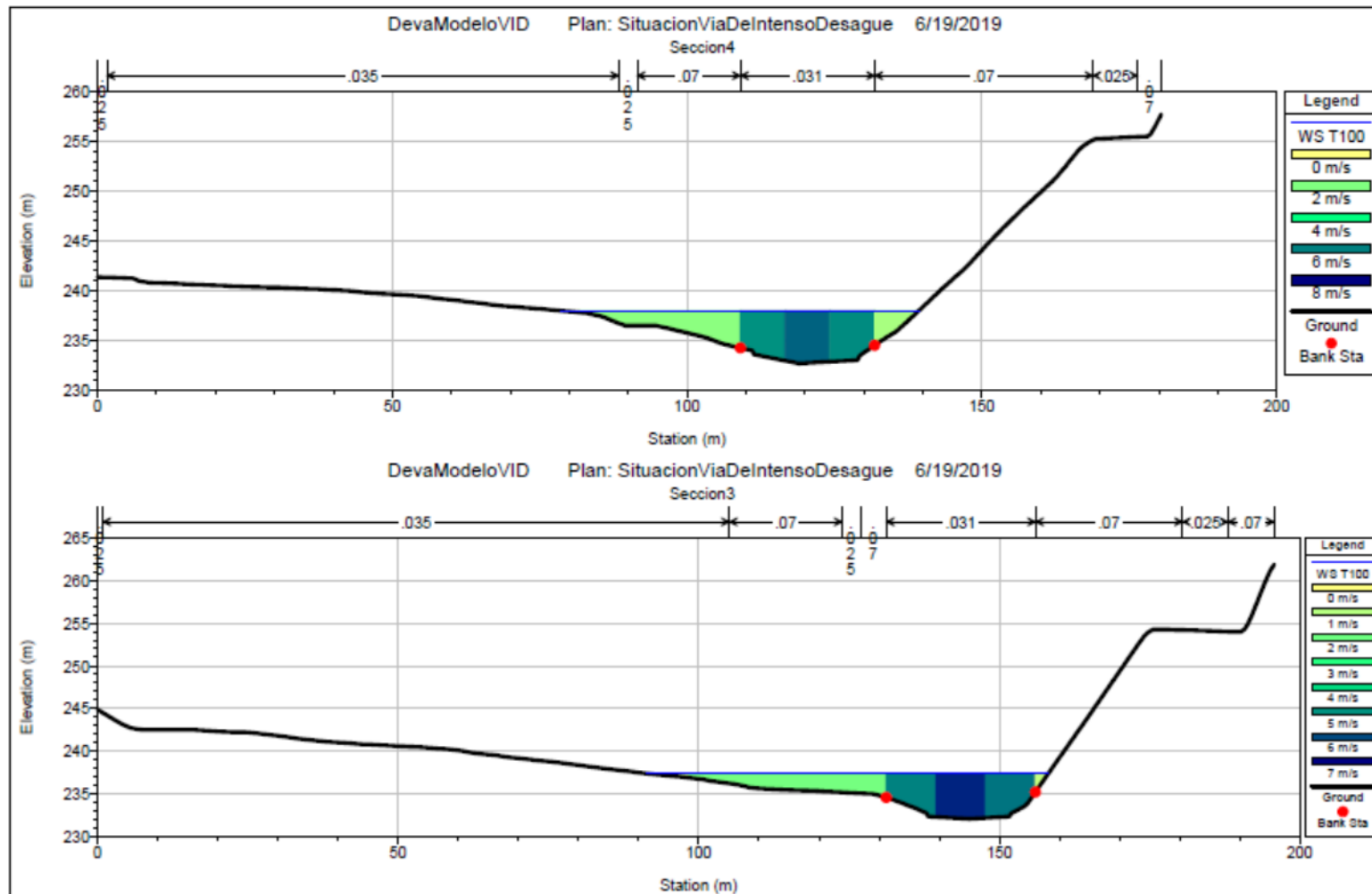


Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique





Trabajo de Fin de Grado
“Estudio de inundabilidad de la finca de Santa Leocadía”
Ana González Fadrique

